

Els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona

Nino Künzli

Professor d'Investigació ICREA
Institut Municipal d'Investigació Mèdica (IMIM-Hospital del Mar), Barcelona
Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Barcelona

Laura Perez

Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Barcelona

Elaborat per a:

Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya
i
Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya

Setembre de 2007

www.creal.cat

Doctor Aiguader, 88
E-08003 Barcelona
Tel +34 93 316 04 00
Fax +34 93 316 06 35



centre de recerca
en epidemiologia
ambiental



Nino Künzli

Professor d'Investigació ICREA

Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Barcelona
Institut Municipal d'Investigació Mèdica (IMIM-Hospital del Mar), Barcelona

Laura Perez

Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Barcelona

Col·laboracions internes i revisors

Jordi Sunyer, codirector, Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Barcelona, Espanya
Fintan Hurley, director científic, Institut of Occupational Medicine, Aaron Cohen, científic principal, The Health Effects Institut, (Institut d'Efectes sobre la Salut), Boston, EUA
Guillem López i Casanovas, catedràtic d'Economia Aplicada, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Espanya (capítol 6)
Brian Miller, epidemiòleg principal, Institut of Occupational Medicine, (Institut de Medicina Ocupacional), Edimburg, Regne Unit (capítol 6, càlculs dels anys de vida)
Xavier Querol, investigador, Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, Consell Superior d'Investigacions Científiques, Barcelona, Espanya

Grup de projecte ampliat

Les persones següents han participat en una o més reunions del projecte:

Agència de Salut Pública de Barcelona: Manel Cabré-González i Natalia Valero
Enric Duran del PAMEM i investigador principal del projecte "Estudi sobre la Salut Respiratòria en la Infància" (SARI).
Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya: Neus Cardeñosa, Vigilància Epidemiològica; Núria Juliachs i Annabel Pedrol, Serveis Territorials a Barcelona; Xavier Llebaria, Agència de Protecció de la Salut; Rosa Monterde, Sanitat Ambiental; Oriol Ribas i Àngel Teixidó, Agència de Protecció de la Salut.
Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya: Isabel Hernández, Xavier Guinart, Maria Comellas, Prevenió i Control de la Contaminació Atmosfèrica; Luis Guitard i Cristina Jové, Gabinet Tècnic.
Enric Rovira, Observatori Mediambiental del Camp Tarragona.
CREAL: Inmaculada Aguilera, Josep Maria Antó, Laura Bouso, Bénédicte Jacquemin, Laura Fernández, Nino Künzli, Jordi Sunyer i Laura Pérez.

Agraïments

Els autors agraeixen a Josep Maria Antó, director del Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental; Antoni Plasència, director general del Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya i Maria Comellas, directora general de Qualitat del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, tot el seu suport en aquest projecte.

També agraeixen a Isabel Hernández, subdirectora general de Prevenió i Control de la Contaminació Atmosfèrica del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya i el personal a càrrec seu per haver facilitat l'accés a les dades mediambientals.

A més, el autors agraeixen a Elvira Torné i Josep Benet, del Registre del Conjunt Mínim Bàsic de Dades de l'Alta Hospitalària (CMBDAH) del Consorci Sanitari de Barcelona (CSB), per haver facilitat l'accés al registre d'admissions hospitalàries.

Finalment, els autors agraeixen a Estel Plana, Raquel Garcia i Inmaculada Aguilera, del Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL), el suport en l'accés a les dades de l'Enquesta de Salut Respiratòria de la Comunitat Europea (ECRHS) i als mapes SIG.



Generalitat de Catalunya



UNIVERSITAT
POMPEU FABRA

CSB

Consorci Sanitari de Barcelona



IMAS
Institut Municipal
d'Assistència Sanitària



Índex

Llistat d'acrònims

Resum

1. Introducció

- 1.1 Contaminació atmosfèrica i salut
- 1.2 Contaminació atmosfèrica a Barcelona i rodalies
- 1.3 Avaluació de l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut pública

2. Objectius

3. Mètodes

- 3.1 Marc general
- 3.2 Àrea d'estudi
- 3.3 Exposició de la població
- 3.4 Efectes sobre la salut
- 3.5 Escenaris d'interès
- 3.6 Valoració dels beneficis per a la salut
- 3.7 Expressió de la incertesa

4. Resultats

- 4.1 Mortalitat
- 4.2 Ingressos hospitalàries
- 4.3 Morbiditat

5. Discussió i anàlisi de sensibilitat

- 5.1. Comentaris generals
- 5.2 Funció de concentració-resposta
- 5.3 Efectes sobre la salut
- 5.4 Exposició de la població
- 5.5 Anàlisi de sensibilitat
- 5.6 Període de temps que transcorre entre la millora de la qualitat de l'aire i els beneficis per a la salut
- 5.7. Comparació amb altres factors de risc

6. Valoració econòmica dels beneficis per a la salut

- 6.1. Introducció
- 6.2. Indicadors econòmics –enfocament VSL
- 6.3 Resultats basats en l'enfocament VSL
- 6.4 Discussió sobre la valoració econòmica

7. Conclusions generals

Bibliografia

Llistat d'acrònims

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Micrograms per metre cúbic
IC del 95%	Interval de confiança del 95%
BC	Bronquitis crònica
FN	Fum negre
CAFE-CBA	Clean Air For Europe cost-benefit analysis (aire net per a Europa – anàlisi de cost-benefici).
COI	Cost of Illness (Cost de malaltia)
COI	Cost of Illness
CRF	Concentration-Response Function
ECRHS	Enquesta de salut respiratòria de la Comunitat Europea
FCR	Funció de concentració-resposta
UE	Unió Europea
HIA	Valoració d'impacte en la salut
EPA	Agència de Protecció Medioambiental
EUA	Estats Units
LY	Anys de vida
NO₂	Diòxid de nitrògen
OMS	Organització Mundial de la Salut
PM	Partícules en suspensió
PM₁₀	Partícules en suspensió amb un diàmetre inferior a 10 micròmetres
PTS	Partícules totals en suspensió
PM_{2,5}	Partícules en suspensió amb un diàmetre inferior a 2,5 micròmetres.
PTS	Partícules totals en suspensió
QALY	Anys de vida ajustats per la qualitat
VOLY	Valor dels anys de vida
VSL	Valor estadístic de la vida
WTP	Disposició al pagament
LE	Esperança de vida

Resum

En la darrera dècada, s'han portat a terme nombrosos estudis amb persones i animals que han confirmat que l'exposició als nivells actuals de contaminació atmosfèrica provocada per l'home origina una àmplia gamma d'efectes perjudicials per a la salut, des de malalties diverses fins a la mort. Altres investigacions més recents apunten que els contaminants emesos pels automòbils i els camions són un motiu de preocupació especial pel que fa a la salut. Uns quants 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 millorat.

Malgrat que encara hi ha alguns temes de recerca pendents, ja es disposa de prou informació per quantificar d'una manera aproximada els problemes de salut que es poden atribuir a la contaminació atmosfèrica en una regió, un país o una ciutat determinats. Aquesta avaluació de riscos (o la traducció de les conclusions obtingudes en la recerca pel que fa a una quantificació de la càrrega per a la salut pública) és una eina important per informar als encarregats d'elaborar les polítiques sobre la dimensió del problema actual i, per tant, sobre els beneficis possibles per a la salut pública que s'aconsegueixen amb les normes per a la regulació de la contaminació atmosfèrica.

Els mesuraments de la qualitat de l'aire que s'han fet en els darrers anys revelen alts nivells de contaminació en moltes zones urbanes d'arreu del món. A la ciutat de Barcelona i els municipis limítrofs, els compostos relacionats amb les emissions del trànsit són molt elevats i resulten realment preocupants. Per exemple, les partícules en suspensió inhalables (PM₁₀), que són partícules minúscules, de fins a 10 micròmetres (µm) de diàmetre d'origen sòlid o líquid suspeses a l'aire, i el gas diòxid de nitrogen (NO₂), un indicador de la contaminació produïda pel trànsit, superen normalment els estàndards actuals fixats per l'Organització Mundial de la Salut (OMS) per protegir la salut.

La Generalitat de Catalunya ha preparat estratègies per millorar la qualitat de l'aire a les zones de Catalunya que tenen la concentració de contaminació més elevada. En primer lloc s'aplicarà un pla de mitigació a l'àrea metropolitana de Barcelona, l'objectiu del qual és reduir a curt termini la contaminació atmosfèrica de la zona perquè, el 2010, compleixi els estàndards actuals fixats per la legislació de la Unió Europea (UE). L'objectiu d'aquest estudi és calcular els beneficis per a la salut que es podrien aconseguir amb una reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Mètodes

El mètode que s'ha emprat per valorar els beneficis per a la salut es basa en enfocaments estàndards que permeten calcular el nombre d'efectes perjudicials que es poden atribuir a algun factor de risc establert. Aquests mètodes són necessaris, ja que no és possible observar o comptabilitzar directament el nombre de casos que es deuen a factors de risc com ara el tabac, les dietes o la contaminació atmosfèrica. El càlcul requereix tres informacions bàsiques: 1) la freqüència o la incidència total actual d'un problema de salut en la població; 2) el nivell actual de contaminació i el nivell que s'espera en un futur per obtenir el *canvi* en les concentracions a què s'exposen les persones i 3) la informació quantitativa sobre la relació entre l'exposició a la contaminació atmosfèrica i la incidència de conseqüències per a la salut.

Problemes de salut seleccionats: L'estudi es va centrar en l'avaluació de tres tipus principals de conseqüències per a la salut rellevants per a les persones i les autoritats sanitàries, per la gravetat i la càrrega que representen: la mortalitat per qualsevol tipus de causa, incloent-hi la mort per exposició a la contaminació

atmosfèrica a llarg i curt termini; la morbiditat, que inclou els símptomes relacionats amb la bronquitis crònica i l'asma, i l'ús de l'atenció sanitària, representat pel nombre d'ingressos hospitalaris per malalties cardiovasculars i respiratòries.

Contaminació seleccionada: tot i que la contaminació atmosfèrica consisteix en una barreja complexa de centenars de components tòxics, les avaluacions del risc no es poden portar a terme per a cada substància de manera individual. En l'enfocament més útil es fa servir un marcador de contaminació atmosfèrica urbana, que en la major part d'avaluacions de risc solen ser les partícules ambientals en suspensió (PM) ja que permeten descriure la càrrega de contaminació i els beneficis de les normes. Aquest projecte també es basa en les PM, concretament les PM₁₀. Es van observar beneficis en comparar els nivells de PM₁₀ als quals la població està exposada actualment amb els nivells que s'esperen després de la reducció de la contaminació. Es va calcular que l'exposició mitjana actual de la població a les PM₁₀ era de prop de 50 µg/m³ en els 57 municipis limítrofs amb Barcelona, que sumen una població total de gairebé 4 milions d'habitants.

Escenaris d'interès: la recerca que s'ha fet fins ara arreu del món suggereix que els efectes perjudicials de la contaminació atmosfèrica existeixen fins i tot a nivells molt baixos, i que no hi ha proves que hi hagi cap llindar per sota del qual la contaminació no tingui efectes. Com a conseqüència d'això, qualsevol millora de la qualitat de l'aire té com a resultat algun benefici per a la salut; i a l'inrevés, si es continua deteriorant la qualitat de l'aire a Barcelona augmentarà encara més la càrrega que la contaminació suposa actualment per a la salut. Així doncs, per quantificar els beneficis que es podrien obtenir, s'ha de comparar la càrrega actual amb la que s'espera aconseguir si la qualitat de l'aire presenta uns nivells més baixos.

Aquest projecte avalua dos escenaris de nivells més baixos per calcular l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut. Un primer grup de càlculs avalua els beneficis que comportaria per a la salut el pla de mitigació de la contaminació atmosfèrica de la Generalitat de Catalunya, que vol assolir els estàndards actuals de la Unió Europea relatius a la qualitat de l'aire. Per tant, aquest estudi quantifica el benefici que s'obtindria si la concentració de l'exposició mitjana actual de la població a les PM₁₀ es reduís aproximadament 10 µg/m³ per tal d'ajustar-se a aquest estàndard (una mitjana anual de 40 µg/m³). D'altra banda, s'ha demostrat en moltes regions i en molts països que els plans de mitigació continuats tenen com a resultat una tendència duradora de millora de la qualitat de l'aire. Per tant, es va desenvolupar un segon grup de càlculs per valorar els beneficis anuals per a la salut sobre la base del fet que la contaminació es continuï reduint fins que s'ajusti a la mitjana anual proposada per l'Organització Mundial de la Salut (OMS), que són els nivells mínims actuals reconeguts per protegir la salut de les persones. Així doncs, aquest segon escenari quantifica els beneficis que s'obtindrien si la concentració d'exposició mitjana de la població a les PM₁₀ es reduís aproximadament 30 µg/m³ per tal d'ajustar-se a l'estàndard recomanat per l'OMS (una mitjana anual de 20 µg/m³ de PM₁₀).

Valor econòmic dels beneficis: atès que les societats disposen de recursos limitats per adjudicar projectes i implantar polítiques, els encarregats d'elaborar polítiques, així com el públic, consideren important que els beneficis per a la salut es tradueixin en valors econòmics; d'aquesta manera, els costos es poden comparar directament amb els costos de les inversions destinades a la mitigació. Basant-se en aquestes avaluacions, l'Agència de Protecció Mediambiental dels Estats Units (United States Environmental Protection Agency) va concloure fa uns anys que una de les regulacions més eficients que han proposat fins ara era

controlar la qualitat de l'aire. Es va calcular que el total de les inversions per millorar la qualitat de l'aire era molt menor que el benefici per a la societat. No obstant això, encara hi ha discussions i debats sobre els mètodes més apropiats per derivar els costos de morbiditat i mortalitat, amb alguns mètodes utilitzats més sovint en valoracions de cost-benefici, però sense arribar a un acord definitiu sobre el tema. Aquest estudi proporciona un marge de costos (en euros per anys) obtingut amb un enfocament utilitzat habitualment en el passat i un enfocament molt més recent proposat pels projectes europeus, i valora les limitacions d'aquests càlculs.

Beneficis

Beneficis per a la salut derivats del compliment de l'estàndard proposat per l'OMS pel que fa a les PM₁₀.

Aquest estudi ha posat de manifest que cada any es podrien arribar a produir 3.500 morts prematures menys entre les persones més grans de 30 anys (prop d'un 12% del total de morts entre persones més grans de 30 anys), un càlcul que inclou 520 morts per exposició a curt termini a la contaminació atmosfèrica. Aquesta reducció del risc de mort representaria un increment d'uns 14 mesos en l'esperança de vida. A més d'una reducció de la taxa de mortalitat, s'ha calculat que aquesta reducció podria representar, per any, 1.800 ingressos hospitalaris menys per causes cardiorespiratòries menys, 5.100 casos menys de bronquitis crònica en adults, 31.100 casos menys de bronquitis agudes en nens i 54.000 crisis d'asma menys en nens i adults.

Beneficis per a la salut derivats del compliment de l'estàndard actual de qualitat de l'aire proposat per la UE

Adaptar-se als nivells regulats per la UE de cara al 2010 és el primer pas d'una estratègia a llarg termini necessària per complir els estàndards més estrictes de l'OMS. Segons l'estudi, la reducció dels nivells actuals de contaminació atmosfèrica fins als estàndards fixats per la UE ja comportaria beneficis substancials per a la salut; de fet s'aconseguiria una tercera part dels resultats esmentats per l'OMS. Per exemple, si fos el cas, el total de morts anuals a l'àrea metropolitana de Barcelona es podria reduir de mitjana a aproximadament 1.200 casos anuals (quasi un 4% del total de morts per motius naturals entre persones més grans de 30 anys). En termes d'esperança de vida, això suposa un augment de gairebé cinc mesos. Aquesta reducció també podria comportar 600 ingressos hospitalaris per causes cardiorespiratòries menys, 1.900 casos menys de bronquitis crònica en adults, 12.100 casos menys de bronquitis agudes en nens i 18.700 crisis d'asma menys en nens i adults.

Beneficis econòmics

La valoració econòmica demostra que els beneficis per a la salut en l'escenari de l'OMS es podria traduir en un cost mitjà de 700 euros per persona i any basant-se en un enfocament revisat del programa europeu de qualitat de l'aire (CAFE, per les sigles en anglès) i en 1600 euros, basant-se en l'enfocament utilitzat més sovint en aquest tipus d'estudis. Aquests càlculs representen un total de 3.000 i 6.400 milions d'euros a l'any, respectivament. En el cas d'una reducció de les PM₁₀ fins al nivell fixat per la UE, es calcula que el benefici econòmic és de 300 euros per persona i any amb l'enfocament CAFE i de 600 euros amb l'enfocament "habitual", cosa que representa una mitjana total de 1.100 i 2.300 milions d'euros l'any, respectivament. Això no obstant, els càlculs obtinguts mitjançant els dos mètodes comporten un marge d'error que se solapa en gran mesura.

Discussió i conclusions

Hi ha prou dades que demostren que la contaminació atmosfèrica comporta efectes perjudicials per a la salut, inclosa la mort; i aquest fet també és avalat per centenars d'estudis fet arreu del món, molts a la mateixa Barcelona. L'estudi de valoració del risc que porta a terme el CREAL també suggereix que la contaminació atmosfèrica comporta un impacte substancial sobre la salut pública, cosa que també concorda amb altres avaluacions fetes a Europa.

En contrast amb les morts ocasionades per accidents de trànsit, l'impacte de la contaminació atmosfèrica no es pot calcular directament i només se'n pot fer una quantificació aproximada. De fet, les assumpcions i enfocaments utilitzats en aquesta avaluació molt probablement han subestimat els beneficis totals que es podrien obtenir realment amb una reducció de la contaminació atmosfèrica. Els factors més importants que no s'han considerat en aquesta subestimació són els següents:

- La llista d'efectes per a la salut associats a la contaminació atmosfèrica és molt més llarga que la que s'ha presentat en l'avaluació de riscos. No s'han avaluat de manera separada els efectes de la contaminació en l'infart de miocardi, l'arítmia i els accidents vasculars cerebrals, ja que es poden incloure en gran mesura, però no completament, en el càlcul d'ingressos hospitalaris i de mortalitat. Tampoc no s'han tingut en compte els efectes adversos menys greus que se sap que estan causats per la contaminació atmosfèrica, com ara les irritacions oculars, la tos i altres símptomes respiratoris, ni les conseqüències de les malalties, com ara l'augment de l'automedicació, ni les absències escolars o laborals, atès que no es disposa de prou dades de base poblacional precises per quantificar-ne la càrrega a Barcelona.
- L'estudi no ha quantificat la càrrega total de contaminació atmosfèrica, només el benefici que comportaria la reducció dels nivells actuals de PM_{10} fins a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivament. Com que no hi ha evidència d'un llindar per sota del qual no es produeixen efectes, se suposa que una reducció de les PM_{10} per sota de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comportaria encara més beneficis per a la salut.
- Per quantificar el problema, l'estudi només ha tingut en compte les PM_{10} , però la contaminació és un tema molt més complex. Alguns altres contaminants poden tenir efectes independents (per exemple, l'ozó) o poden interactuar amb les PM i, per tant, augmentar els efectes d'aquestes. No hi ha prou dades sobre contaminació ni d'estudis epidemiològics pertinents que es puguin emprar en aquesta avaluació local de riscos. Altres estudis, com ara els fets al Regne Unit o als EUA, han inclòs contaminants com l'ozó, amb la qual cosa s'ha demostrat que hi ha una càrrega addicional.
- Barcelona té una densitat de trànsit molt elevada i és a més una de les ciutats amb més densitat de població d'Europa. En altres paraules, moltes persones viuen, treballen i passen el temps molt a prop del trànsit del carrer. Estudis recents apunten l'efecte perjudicial dels contaminants que es produeixen en concentracions molt elevades en els primers 50-100 metres de carrers. De moment no es disposa de la distribució per proximitat del trànsit de Barcelona; per la qual cosa no es va poder fer servir en aquesta avaluació de riscos. Tanmateix, es considera que en aquesta avaluació els efectes perjudicials per a la salut ocasionats pel trànsit queden clarament subestimats. A més, uns quants estudis que mesuren l'efecte directe de les PM sobre les persones mentre caminen, van en bicicleta i condueixen per una ciutat semblant a Barcelona arriben a la conclusió que, per a moltes persones, l'exposició personal a les PM_{10} és encara més gran que la que mesuren els monitors, tot i que aquests constitueixen la base del càlcul de les concentracions considerades en

l'estudi.

Els resultats obtinguts en aquest estudi són *càlculs aproximats* que impliquen els errors propis d'aquest tipus d'avaluació. El marge d'error de l'estudi inclou el que s'observa en la relació quantitativa entre les PM₁₀ i la salut i, si es consideren tots els resultats, és aproximadament del 50% en els càlculs. Tot i que són menys en quantitat i més difícils de quantificar a causa de la manca d'informació, altres dades utilitzades en els càlculs també comporten petits errors inherents, com ara la distribució de concentracions de PM₁₀ a la regió o la freqüència dels efectes per a la salut (per exemple, els símptomes), que són càlculs que es fonamenten en altres estudis.

Aquest estudi demostra que la disminució dels nivells de PM₁₀ a Barcelona comportaria beneficis importants per a la salut. De fet, algunes estratègies per reduir la contaminació comportarien millores contínues i realment immediates en la qualitat de l'aire. No obstant això, es desconeix si els beneficis per a la salut també seran immediats. Un estudi d'intervenció recent ha mostrat una baixada regular i immediata de la taxa de mortalitat després de la prohibició de l'ús del carbó a Dublín. De la mateixa manera, s'ha demostrat que els símptomes en nens milloren si baixa la contaminació atmosfèrica. No obstant això, és raonable pensar que tots els beneficis d'una millora de la qualitat de l'aire no es podran detectar durant el primer any. En general, s'espera que els efectes de la contaminació a curt termini (per exemple, els ingressos hospitalaris) es redueixin paral·lelament a la millora de la qualitat de l'aire, mentre que la disminució dels efectes crònics (per exemple, la disminució de la incidència de càncer de pulmó, asma o malalties pulmonars obstructives cròniques) a causa de la contaminació atmosfèrica pot trigar més a materialitzar-se. Segons els models teòrics actuals, es calcula que és possible que en el primer any s'arribi a evitar el 40% de les morts atribuïbles.

Com s'explica en l'apartat "Discussió" d'aquest informe, el concepte de morts atribuïbles, encara que sigui útil com a aproximació a curt termini (uns dos anys), no és apropiat per expressar els beneficis a llarg termini, ja que simplement multiplica els resultats d'aquest estudi pel nombre d'anys de reducció de contaminació. Això es deu al fet que la mort no es pot evitar, sinó que solament es pot posposar mitjançant la prevenció de malalties. Així doncs, els valors del canvi en l'esperança de vida i l'estimació del guany en anys de vida són mesures més apropiades per quantificar els beneficis a llarg termini de les polítiques d'intervenció. Aquest aspecte és especialment rellevant per calcular els beneficis econòmics a llarg termini que comportarien les estratègies de reducció de la contaminació atmosfèrica.

En resum, l'estudi demostra que és possible que la millora de la qualitat de l'aire a l'àrea metropolitana de Barcelona per ajustar-se als nivells de la UE i als estàndards més estrictes proposats per l'OMS recentment, comporti beneficis substancials immediats i a llarg termini per als residents d'aquesta àrea.

1. Introducció

1.1 Contaminació atmosfèrica i salut

Els estudis experimentals realitzats a sistemes cel·lulars, tant d'animals com d'éssers humans, així com un gran nombre d'estudis epidemiològics, han posat de manifest que els nivells actuals de contaminació atmosfèrica antropogènica produeixen mortalitat i morbiditat en els humans [1]. En diversos estudis que es porten a terme a Espanya [2, 3] s'estan estudiant en profunditat els efectes de la contaminació atmosfèrica a curt termini, és a dir, els efectes que es produeixen unes hores o uns dies després de l'exposició. Segons la feblesa i la susceptibilitat de les persones, els nivells actuals de contaminació atmosfèrica produeixen efectes a curt termini que varien des de molèsties menors, reducció de la funció pulmonar o símptomes respiratoris lleus fins a efectes respiratoris i cardiovasculars més greus com ara reaguditzacions de les crisis asmàtiques o de la bronquitis crònica, o fins i tot podrien desencadenar arítmies, infarts de miocardi i accidents vasculars cerebrals. Amb aquests efectes més greus, s'ha observat que, a mesura que augmenten els nivells de contaminació, també augmenta el nombre de consultes mèdiques, consultes d'urgències i ingressos hospitalaris. El desenllaç clínic més greu que pot arribar a comportar la contaminació atmosfèrica és la mort. Les taxes de mortalitat també augmenten gradualment a mesura que la qualitat de l'aire es deteriora. Atès que aquests efectes no es produeixen solament durant els episodis greus de contaminació atmosfèrica, sinó a tots els nivells de contaminació, no es disposa de dades que posin de manifest que hi ha "nivells segurs" de contaminació atmosfèrica. L'exposició diària i a llarg termini a la contaminació atmosfèrica també facilita l'aparició de canvis patofisiològics crònics i malalties cròniques que, en darrera instància, redueixen l'esperança de vida. Diversos estudis de cohorts, realitzats tant als Estats Units com a Europa, confirmen que els nivells actuals de contaminació atmosfèrica redueixen l'esperança de vida i aquests efectes resulten especialment greus, en el cas de morts per problemes cardiovasculars, així com càncer de pulmó [4]. A més, cada cop hi ha més estudis que suggereixen que les persones que viuen molt a prop de carrers molt transitats experimenten altres efectes negatius per a la salut, com l'asma o la mort [5, 6].

Queden moltes qüestions per resoldre i, de fet, s'estan investigant de forma intensa en l'àmbit internacional. S'inclouen investigacions dels mecanismes que provoquen els efectes en la salut observats i la caracterització dels constituents i fonts més rellevants de l'àmbit toxicològic. Tanmateix, ja s'han portat a terme diversos estudis experimentals que confirmen la funció de les diverses vies patofisiològiques que, en darrera instància, causen els efectes observats [7]. En conseqüència, en els darrers anys han augmentat considerablement les dades que recolzen un efecte advers causal de la contaminació en la salut, i l'ús d'aquestes dades en les valoracions dels riscos s'ha anat estenent cada cop més.

1.2 Contaminació atmosfèrica a Barcelona i a les rodalies

La qualitat de l'aire (és a dir, les partícules en suspensió (PM), i el diòxid de nitrogen NO₂), de Barcelona i les rodalies és molt pobre i, en els últims anys, aquesta situació s'ha agreujat encara més [8]. La concentració d'aquests contaminants supera àmpliament els estàndards desenvolupats per protegir la salut pública que ja han adoptat altres governs, com el dels EUA, l'Estat de Califòrnia, i alguns països de la europeus. Els nivells de contaminació també superen de forma regular les directrius sobre la qualitat de l'aire que l'OMS

recomana per protegir la salut pública [9]. Per exemple, a la ciutat de Barcelona, la concentració mitjana anual de partícules en suspensió amb un diàmetre inferior a 10 µm (PM₁₀) era de 49 µg/m³ (mitjana obtinguda de sis monitors fixos) l'any 2004, 45 µg/m³ el 2005, i 50µg/m³ el 2006, quan les directrius establertes per l'OMS sobre la mitjana anual de la qualitat de l'aire és de 20 µg/m³. La mitjana anual de cada un dels monitors també supera aquest valor. Per exemplificar-ho, a la **Taula 1.1** es presenta la mitjana anual de PM₁₀ de Barcelona en comparació amb els nivells d'altres ciutats de tot el món que proporciona l'informe sobre les directrius de la qualitat de l'aire de l'OMS [9].

Diversos estudis epidemiològics han demostrat els efectes adversos de la contaminació atmosfèrica a la població de Barcelona. Per exemple, l'exposició a curt termini a nivells elevats de contaminació atmosfèrica augmenta el risc de mortalitat en poblacions amb malalties cròniques preexistents [10]. La gran densitat de trànsit, juntament amb una densitat d'habitants elevada i la limitació d'espai entre edificis suggereix que l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut i, especialment, la contaminació deguda al trànsit, poden constituir un problema especialment greu en aquesta zona.

Actualment, les autoritats governamentals de Barcelona i les rodalies estan fent molts esforços a consciència per reduir la contaminació atmosfèrica. El primer pas en aquest repte és el desenvolupament d'un pla d'actuació per reduir els nivells de la qualitat de l'aire fins als estàndards que estableix la UE amb la directiva 1999/30/CE, que regula els valors límits de NO₂ i PM₁₀ a l'atmosfera, que normalment se superen. La concentració mitjana anual establerta per la UE de NO₂ y PM₁₀ se situa en 40 µg/m³. Atès que els valors són molt menys estrictes del que recomanen els estàndards de la comunitat científica i les directrius sobre la qualitat de l'aire que l'OMS ha publicat recentment per protegir la salut pública, la reducció d'aquests nivells constitueix un primer pas molt important per a aquelles ciutats europees que pateixen problemes greus a causa de la qualitat de l'aire. Segons la directiva de la UE, els Estats membres han de prendre les mesures necessàries per assegurar que l'any 2010 no es superin els límits de NO₂ (concentració mitjana anual límit de 40 µg/m³), tot i que aquest valor màxim de 40 µg/m³ de PM₁₀ (mitjana anual) ja s'hauria de complir des de l'1 de gener del 2005. A l'octubre del 2006 el Consell de la UE va presentar un nou esborrany de la Directiva de qualitat de l'aire a Europa que es va enviar al Parlament Europeu per a una segona revisió. El nou esborrany manté un límit mitjà anual de PM₁₀ de 40 µg/m³, però permet que aquest nivell superi els 50 µg/m³ en un màxim de 35 dies l'any. L'esborrany també introdueix les PM_{2.5} en la legislació amb un límit mitjà anual de 25 µg/m³ per al 2015 i una reducció del 20% dels nivells anuals de les mitjanes de 2008-2010 a 2018-2020. La nova Directriu de l'OMS recomana una mitjana anual de PM_{2.5} de 10 µg/m³, quan als EUA l'estàndard nacional per a la qualitat de l'aire és de 15 µg/m³ i de 12 µg/m³ a l'Estat de Califòrnia. El 2005 Barcelona va superar tots els nous límits. Per exemple, en el període 1999-2006 els nivells diaris de PM_{2.5} van oscil·lar entre 25 i 35 µg/m³ en tres llocs de mostreig (l'Hospitalet, Sagrera, avinguda Diagonal) [11-13]. A l'àrea metropolitana de Barcelona els nivells de PM_{2.5} encara no es controlen de forma regular.

Taula 1.1. Mitjana anual de les concentracions de PM₁₀ observades a algunes ciutats del món

Continent	Ciutat	Mitjana anual de concentracions de PM ₁₀ (µg/m ³)
Àsia	Nueva Delhi	160
	Seül	60
	Tòquio	30
Amèrica Latina	Lima	110
	Ciudad de	55

	México	
	Sao Paulo	49
Àfrica	El Caire	150
	Ciutat del Cap	25
Europa	Praga	60
	Barcelona	55
	Roma	55
	Oslo	45
	Londres	25
	Estocolm	20
Amèrica del Nord	San Diego	50
	Los Ángeles	48
	Nova York	25

Font: [9] OMS. *Directrius sobre la qualitat de l'aire. Actualització global 2005.*

1.3 Avaluació de l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut pública

Els científics i les agències de salut pública es preocupen cada cop més per valorar l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut pública. Aquestes valoracions consisteixen a traslladar els resultats de les recerques i elaborar una quantificació aproximada del problema per a la salut d'una zona, país o ciutat determinats i que es pot atribuir a la contaminació atmosfèrica. També poden utilitzar-se per obtenir una quantificació aproximada dels beneficis potencials que es podrien aconseguir si s'estableixen les polítiques de reducció de la contaminació atmosfèrica. Aquest treball de translació resulta molt efectiu per conscienciar el públic i els responsables d'elaborar les polítiques sobre l'envergadura aproximada del problema. Tot i que a nivell individual els efectes de la contaminació atmosfèrica en general no són gaire importants –és a dir, menys importants que l'hàbit del tabac per exemple–, l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut pública pot ser bastant substancial. El motiu d'aquesta paradoxa prové del fet que tota la població està exposada a la contaminació atmosfèrica, o al menys en un cert grau, mentre que només hi ha una minoria de població que fuma activament. A més, la contaminació atmosfèrica de vegades és més elevada a les zones amb més densitat de població, de manera que els efectes perjudicials per a la salut també augmenten.

Durant els últims 15 anys s'han anat desenvolupant els mètodes per valorar l'impacte de la contaminació atmosfèrica [14]. Aquests mètodes s'han discutit a les comissions de l'OMS, la qual cosa ha fet que els experts aportin recomanacions. Tant les agències governamentals del Regne Unit i d'altres països de la UE així com l'Agència de Protecció Mediambiental dels Estats Units (EPA) i de Califòrnia fan servir aquests mètodes de forma habitual; de fet, una comissió de l'Acadèmia Nacional de Ciències dels EUA va aprovar els enfocaments generals. Les Valoracions de l'Impacte en la Salut (HIA, per les sigles en anglès) de la contaminació atmosfèrica s'han aplicat de forma diferent segons les zones geogràfiques, des de valoracions globals aproximatives fins a estudis locals, nacionals o internacionals més sofisticats.

Darrerament a Europa s'han fet diverses valoracions de l'impacte en la salut i en el cas de d'Espanya i la ciutat de Barcelona, s'han proporcionat diferents valors de la contaminació atmosfèrica. En tots aquests estudis s'observa que, en general, els efectes perjudicials per a la salut atribuïbles a la contaminació atmosfèrica provenen principalment dels efectes que originen mortalitat en adults, que es deu a una exposició de forma prolongada a les partícules en suspensió.

Una de les primeres HIA fetes a Europa va ser *l'Estudi trinacional* [15]. Aquest estudi va calcular l'impacte de la contaminació atmosfèrica total i de la contaminació per trànsit en la salut a tres països: Àustria, França i Suïssa. L'estudi va mostrar que la contaminació atmosfèrica representa el 6% de la mortalitat total (més de 40.000 casos atribuïbles a l'any). Aproximadament la meitat del total de morts per contaminació atmosfèrica es va poder atribuir al trànsit rodat, però també es podien comptabilitzar més de 25.000 nous casos de bronquitis crònica en adults, més de 290.000 episodis de bronquitis en nens, més de 500.000 crisis d'asma i més de 16 milions de persones amb dies d'activitats restringides.

Una altra de les HIA és la *Contaminació Atmosfèrica i Salut: un sistema d'informació europeu* (APHEIS, per les sigles en anglès) [16-18]. L'APHEIS es va crear l'any 1999 per proporcionar dades i recursos sobre la contaminació atmosfèrica als encarregats de prendre decisions i d'aplicar polítiques, als professionals de la salut i del medi ambient, al públic en general i als mitjans de comunicació. Barcelona és una de les ciutats que forma part de la xarxa APHEIS. En la darrera avaluació de l'APHEIS, l'APHEIS-3, es va calcular que a Europa cada any es podrien evitar 11.000 morts prematures si es reduís l'exposició a llarg termini a les $PM_{2.5}$ a $20 \mu g/m^3$. Aquesta avaluació s'ha basat en una població total de gairebé 39 milions d'habitants. Així mateix, es va calcular que, de mitjana, l'esperança de vida d'una persona de 30 anys es podria allargar, segons la zona geogràfica, de 2 a 13 mesos si les concentracions de $PM_{2.5}$ no superessin els $15 \mu g/m^3$.

Una tercera HIA seria el *Sistema Europeu d'Informació del Medi Ambient i la Salut* (ENHIS, per les sigles en anglès) [19]. L'ENHIS és un sistema metodològic que s'encarrega d'aconseguir que les HIA siguin viables amb els diferents factors de risc mediambiental. En el cas de la contaminació atmosfèrica, l'HIA intenta calcular la quantitat d'incidències en la salut per contaminació atmosfèrica (PM_{10} i ozó) que es podrien evitar en diferents grups de població (nens, adults, persones grans i població en general) i en diferents ciutats d'Europa. Per a Barcelona, els resultats s'han centrat en les morts i els ingressos hospitalaris a causa dels nivells d'ozó en la població general i en la mort infantil per PM_{10} . A Barcelona, l'HIA va demostrar que cada reducció de $10 \mu g/m^3$ d'ozó en la concentració mitjana diària de 8 hores evitaria 22 morts anuals a la població general de la zona d'estudi, 11 per malalties cardiovasculars i 9 per problemes respiratoris. Pel que fa als ingressos hospitalaris, aquets descens aconseguiria evitar un ingrés per problemes respiratoris en la població adulta (de 15 a 64 anys) i 21 ingressos en el cas de la població de més de 64 anys. Atès que tota la resta romandria igual, la reducció dels nivells mitjans anuals de PM_{10} a $20 \mu g/m^3$ podria prevenir 0,45 morts neonatals. La reducció dels valors mèdics diaris de PM_{10} a 20 també podria prevenir 10 ingressos hospitalaris per causes respiratòries entre nens de fins a 15 anys. El nombre relativament baix de casos evitables obtingut per l'ENHIS es deu al fet que Barcelona presenta uns nivells d'ozó molt baixos, així com la taxa de mortalitat infantil que també és molt baixa.

La quarta HIA és la valoració de l'impacte del projecte *Aire net per a Europa, anàlisi del cost-benefici* (CAFE-CBA, per les sigles en anglès) [20]. L'objectiu del programa CAFE-CBA era desenvolupar a llarg termini polítiques integrades i estratègiques per protegir la població europea dels principals efectes negatius de la contaminació atmosfèrica per a la salut humana i per al medi ambient. El CAFE-CBA va calcular la càrrega sanitària de la contaminació atmosfèrica exterior en funció del nivell d'emissions previstes per al 2020 a Europa per part dels Estats membres que compten amb diferents polítiques legislatives. Aquesta HIA també ofereix una anàlisi del cost-benefici que comportaria un canvi en les emissions per part d'Europa. L'estudi CAFE-CBA va calcular que, segons els nivells de l'any 2000 i en comparació amb la legislació actual, la contaminació atmosfèrica provocava



22.000 morts prematures a Espanya, així com altres malalties, que podrien representar un cost total anual entre 400 i 1.000 euros per càpita en funció dels mètodes de càlcul seleccionats.

Continuant amb el seu projecte *Càrrega Mundial de Morbiditat*, l'OMS ha determinat recentment la càrrega mediambiental de malalties de cada país en funció dels factors de risc seleccionats, inclosa la contaminació atmosfèrica [21]. En el cas d'Espanya, s'ha calculat que la càrrega per contaminació atmosfèrica és de 5.800 morts anuals. Aquest càlcul assumeix una reducció dels nivells mitjans urbans de PM₁₀ de 30 µg/m³ a 20 µg/m³, el valor mitjà de PM₁₀ que recentment ha recomanat l'OMS. En aquesta valoració solament s'han considerat ciutats amb poblacions de més de 100.000 habitants, que en total equivalen al 42% de la població espanyola (43,1 milions).

Tot i que amb aquests estudis europeus s'ha pogut calcular aproximadament la càrrega de la contaminació atmosfèrica per a la salut d'Espanya i Barcelona, fins ara no s'ha fet una valoració detallada d'una regió d'Espanya.



2. Objectius

En aquest projecte es porta a terme una valoració de l'impacte en la salut (HIA, per les sigles en anglès) de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona.

L'objectiu principal d'aquest estudi és proporcionar un primer càlcul aproximat dels beneficis per a la salut dels residents de la zona que podríem aconseguir amb una millora constant de la qualitat de l'aire. Així mateix, l'estudi també presenta un càlcul aproximat dels costos econòmics que comportarien aquests beneficis.

S'espera que els resultats de l'estudi siguin útils per a les persones encarregades d'elaborar les polítiques mediambientals, així com també per al públic en general.

3. Mètodes

3.1 Marc general

L'estructura metodològica general de l'HIA de la contaminació atmosfèrica ja s'ha descrit en diversos informes i articles [14, 15, 22, 23]. Consisteix a aplicar els mètodes que s'han fet servir durant dècades per comptabilitzar el risc atribuïble a uns determinats factors de risc, com pot ser el tabac. La proporció atribuïble és la proporció d'un problema per a la salut que es pot atribuir a una exposició determinada (en comparació amb una exposició de referència) o a un canvi d'exposició. Si es coneix el nombre total de casos que presenten un problema per a la salut en un grup determinat de població, llavors es poden comptabilitzar els casos atribuïbles d'aquesta població. Donat el fet que no es donaria cap "cas atribuïble" si no es produís l'exposició, de vegades la proporció atribuïble s'anomena "càrrega evitable".

La informació necessària per calcular els "casos atribuïbles" està formada per tres quantitats: (1) la freqüència amb la qual apareix un problema per a la salut a la població, és a dir, el nombre de casos anuals d'un problema determinat per a la salut, (2) el nivell d'exposició a un factor de risc per part d'una població i (3) l'associació quantitativa entre l'exposició i el desenllaç clínic (la funció concentració-resposta o FCR).

A més d'aquests valors, l'avaluació de la càrrega que la contaminació atmosfèrica exerceix en la salut depèn de l'àrea d'estudi definida, el sistema mètric d'exposició triat, els resultats clínics que s'inclouran en la valoració i l'elecció dels "nivells de referència".

En els paràgrafs següents es detallen les dades específiques i la metodologia utilitzada en aquesta avaluació en relació amb aquests aspectes centrals.

3.2 Àrea d'estudi

La ciutat de Barcelona es troba a la costa central de Catalunya, al nord-est d'Espanya, però forma part d'una zona industrial i urbana que s'estén diversos quilòmetres cap al nord, l'oest i el sud de la ciutat. Aquesta zona extensa s'acostuma a anomenar àrea metropolitana de Barcelona. Tanmateix, encara no s'ha determinat l'extensió geogràfica precisa d'aquesta àrea i varia segons les entitats locals que s'hi refereixen. En aquest projecte, l'àrea geogràfica està formada per 57 municipis que es van escollir com a àrea d'estudi. Aquesta àrea es va seleccionar per la seva continuïtat geogràfica i s'esperava que els municipis presentessin similituds quant a l'exposició a la contaminació atmosfèrica. En aquest text, aquesta zona extensa s'anomenarà àrea metropolitana de Barcelona, tot i que fa referència a una zona més ampla que la definida per altres entitats. Els municipis constitueixen les unitats més petites de les que es disposen dades.

A la **Figura 3.1** es presenta l'àrea d'estudi d'acord amb la seva situació geogràfica regional.

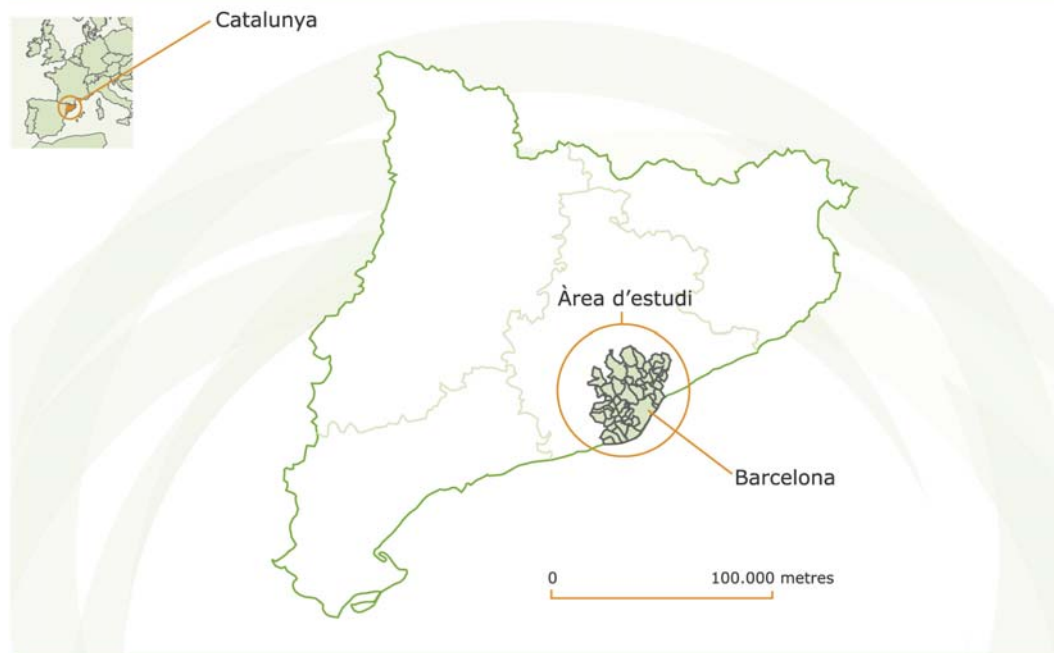
La **Taula 3.1** representa la distribució de la població entre els 57 municipis de l'àrea d'estudi.

Taula 3.1. Distribució de la població en els 57 municipis de l'àrea d'estudi, any 2004

Municipi	Codi postal	Població total	% de tota la població	Densitat de població (hab/km ²)
Abrera	80018	9.422	0,24	471
Badalona	80155	214.874	5,55	9.767
Badia del Vallès	89045	14.313	0,37	14.313
Barberà del Vallès	82520	27.202	0,70	3.400
Barcelona	80193	1.578.546	40,80	15.785
Canovelles	80410	14.001	0,36	2.000
Castellar del Vallès	80517	19.475	0,50	433
Castellbisbal	80543	10.352	0,27	334
Castelldefels	80569	53.964	1,39	4.497
Cerdanyola del Vallès	82665	56.065	1,45	1.809
Cervelló	80689	6.980	0,18	233
Corbera de Llobregat	80728	11.278	0,29	627
Cornellà de Llobregat	80734	83.327	2,15	11.904
El Papiol	81580	3.628	0,09	403
El Prat de Llobregat	81691	63.148	1,63	2.037
Esplugues de Llobregat	80771	45.915	1,19	9.183
Gavà	80898	43.242	1,12	1.395
Granollers	80961	56.456	1,46	3.764
Hospitalet de Llobregat	81017	250.536	6,48	20.878
La Llagosta	81056	12.944	0,33	4.315
Lliçà d'Amunt	81075	12.009	0,31	546
Lliçà de Vall	81081	5.696	0,15	518
Martorell	81141	25.010	0,65	1.924
Martorelles	81154	4.912	0,13	1.228
Molins de Rei	81234	22.496	0,58	1.406
Mollet del Vallès	81249	50.691	1,31	4.608
Montcada i Reixac	81252	30.953	0,80	1.346
Montmeló	81350	8.724	0,23	2.181
Montornès del Vallès	81363	14.065	0,36	1.407
Olesa de Montserrat	81477	20.294	0,52	1.194
Palau Solità i Plegamans	81568	12.499	0,32	833
Palma de Cervelló	89058	2.881	0,07	524
Parets del Vallès	81593	15.912	0,41	1.768
Pallejà	81574	9.746	0,25	1.218
Polinyà	81672	5.855	0,15	651
Ripollet	81803	33.605	0,87	8.401
Rubí	81846	66.425	1,72	2.076
Sabadell	81878	193.338	5,00	5.371
Sant Adrià de Besos	81944	32.921	0,85	8.230
Sant Cugat del Vallès	82055	65.061	1,68	1.355
Sant Fost de Campsentelles	82093	7.039	0,18	541
Sant Quirze del Vallès	82384	15.729	0,41	605
Sant Viçenç dels Horts	82634	26.477	0,68	2.942
Santa Coloma de Cervelló	82444	6.652	0,17	832
Santa Coloma de Gramanet	82457	116.503	3,01	16.643
Santa Perpètua de Mogoda	82606	20.844	0,54	1.303
Sentmenat	82671	6.628	0,17	237
Sant Andreu de la Barca	81960	23.675	0,61	3.946
Sant Boi de Llobregat	82009	80.636	2,08	3.665
Sant Climent	82042	3.366	0,09	306
Sant Feliu de Llobregat	82114	41.954	1,08	3.496
Sant Joan Despí	82172	30.242	0,78	5.040
Sant Just Desvern	82212	14.910	0,39	1.864
Terrassa	82798	189.212	4,89	2.703
Torelles de Llobregat	82896	4.324	0,11	309
Vallirana	82956	11.678	0,30	487
Viladecans	83015	60.033	1,55	3.002
ÀREA TOTAL	--	3.868.663	100	3.548¹

Font: Institut d'Estadística de Catalunya, any 2004; 1 densitat mitjana de població.

Figura 3.1.



Localització geogràfica dels 57 municipis de Catalunya inclosos en l'àrea d'estudi, que es denomina àrea metropolitana de Barcelona en tot el text.

3.3 Exposició de la població

3.3.1 Indicador de la contaminació atmosfèrica utilitzat en aquest projecte

La contaminació atmosfèrica és una mescla complexa de constituents i agents contaminants que sovint estan molt interrelacionats. Els estudis epidemiològics no poden discernir la contribució específica de cada component dels problemes per a la salut, i els estudis toxicològics encara no proporcionen prou informació sobre la resposta a la dosi de tots els agents contaminants i les seves interaccions. En conseqüència, les valoracions de l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut depenen dels estudis epidemiològics, que utilitzen indicadors de la qualitat de l'aire. Tampoc no es pot avaluar per separat el risc de diversos agents contaminants interrelacionats per després sumar-los, ja que la càrrega total quedaria àmpliament sobreestimada. Està reconegut que els efectes adversos de la contaminació per a la salut estan relacionats especialment amb les partícules en suspensió (PM). En el cas d'aquesta valoració, s'han seleccionat les PM_{10} com a indicador per representar la contaminació atmosfèrica de l'ambient urbà, ja que la majoria d'estudis que informen d'aquests efectes estan basats en l'exposició a les PM_{10} ; un altre estudi va quantificar el risc utilitzant fraccions més fines de PM, és a dir, les $PM_{2,5}$, i un altre estudi va utilitzar les partícules totals en suspensió (PTS), que es corresponen amb les de com a mínim 30 micròmetres de diàmetre. Sense la informació epidemiològica completa per a cada tipus de fracció de PM, sovint és necessari fer conversions entre les fraccions de diverses mides. Aquest projecte ha utilitzat en els casos necessaris un factor de conversió de 0,6. Aquest factor assumeix que les $PM_{2,5}$ representen el 60% de les PM_{10} com s'ha proposat en altres estudis anteriors [15]. Aquest factor és similar a la proporció observada a les estacions de control a Barcelona [11-13].

Es disposa de prou dades per suggerir que l'ozó provoca altres efectes en la salut; és probable que aquests efectes es produeixin de forma independent o que estiguin relacionats amb altres agents contaminants, especialment a l'estiu. Tanmateix, atès que els efectes de l'ozó són de curta durada i relativament petits considerant les concentracions predominants d'aquesta àrea urbana, s'espera que la contribució d'ozó en la càrrega total de contaminació atmosfèrica urbana sigui relativament mínima (en comparació amb els efectes de les PM_{10}) i, per tant, no s'ha inclòs en aquesta avaluació. Els efectes que produeix l'ozó de Barcelona en la salut es poden consultar a l'informe local de l'HIA que l'ENHIS inclou per a la ciutat de Barcelona [19]. Els resultats posen de manifest que, si la concentració diària màxima d'ozó durant un màxim de 8 hores es reduís a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evitaria cada any unes 20 morts (IC del 95%: 10-40), i uns 20 ingressos hospitalaris per problemes cardiovasculars i respiratoris. En aquest informe, les concentracions de l'ozó a Barcelona, obtingudes cada 24 hores, oscil·laven entre 30 i $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, especialment a l'estiu. El 2006, l'OMS va recomanar que el valor mitjà d'ozó durant 8 hores hauria de ser de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per preservar la salut humana. S'ha de tenir en compte que és probable que, si s'utilitza un únic indicador de la contaminació atmosfèrica urbana se subestimen els beneficis dels plans de gestió de l'atmosfera, ja que pot ser que aquests plans també redueixin les concentracions d'altres agents contaminants com el NO_2 , el NO_x i el benzè i altres que poden tenir efectes independents o sinèrgics sobre la salut.

3.3.2. Determinació de l'exposició de la població

Per obtenir els casos atribuïbles a un determinat canvi de concentració, és necessari determinar el nivell d'exposició de la població abans que es produeixi el canvi. En aquest context, amb "exposició" ens referim a les concentracions de PM_{10} de fons representatives de la concentració que es dona al lloc de residència de les persones. Els nivells actuals es consideraran el punt de referència per a futurs canvis. Es disposa de diverses aproximacions per determinar l'exposició de la població en funció del nivell de detall de les dades disponibles. L'aproximació més ordinària consisteix a utilitzar el valor mitjà anual que s'obté amb un monitor (escollit com a "representatiu" de l'àrea d'estudi). Un enfocament més sofisticat consisteix a utilitzar superfícies de contaminació modelades, que es sobreposen a les distribucions de la població per obtenir així els càlculs detallats de les distribucions de l'exposició de la població. En funció de la disponibilitat de dades, es pot recórrer a mètodes intermediaris.

En aquesta avaluació, l'exposició de la població estava representada amb la concentració mitjana que considerava la població de cada municipi (concentració mitjana ponderada per població). Aquestes concentracions es van obtenir en funció de l'edat. L'any de referència per a la valoració de les concentracions ambientals va ser el 2004, que concorda amb l'any per al qual es disposava de dades sobre la qualitat de l'aire i dades sobre els efectes per a la salut. Els grups d'edat concorden amb aquells utilitzats en els estudis de directrius, que proporcionen les relacions concentració-resposta (FCR) escollides en la valoració (vegeu la secció 3.4) i s'inclouen totes les franges d'edat, 0-1 anys, 0-15 anys, ≥ 15 anys, ≥ 25 anys i ≥ 30 anys.

Les concentracions mitjanes de PM_{10} ajustades per població es van obtenir com s'explica a continuació. En primer lloc, es va calcular una concentració mitjana per a les zones urbanitzades de cada municipi. Les concentracions es van extreure del mapa modelat de concentració superficial de PM_{10} que el Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya va desenvolupar [24]. El mapa es va desenvolupar aplicant diferents models de dispersió de l'aire per poder predir les concentracions a l'àrea d'estudi amb diferents fonts d'emissió de PM_{10} el 2004. El mapa de superfície obtingut es va validar realitzant comparacions amb les concentracions obtingudes en monitors fixos. El mapa de superfície de

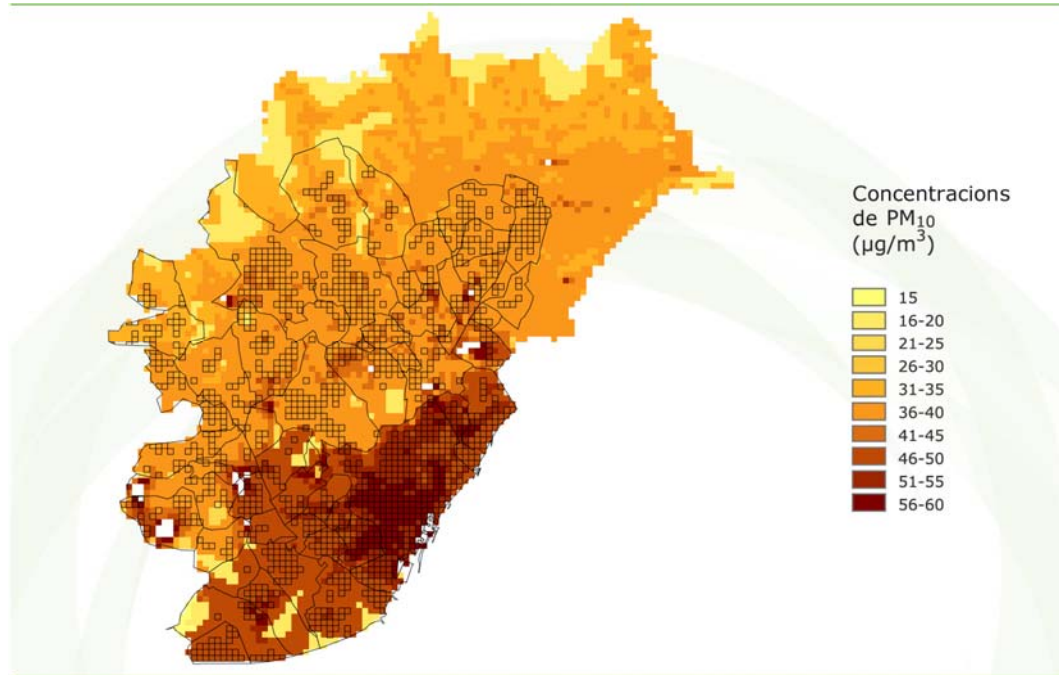
concentracions es va elaborar en una quadrícula de 500 x 500 m (6.095 cel·les en total). En total es van descartar 31 cel·les de la quadrícula, ja que presentaven una concentració al menys dues vegades superior a les concentracions de les cel·les veïnes. Per consegüent, representa que en la derivació de la concentració mitjana ponderada per població es van ignorar les concentracions per a la població que viu en aquestes cel·les, i es considera que estan exposades a la concentració mitjana. La valoració del risc es basa en la població total, incloent aquestes 31 cel·les. Es va calcular la concentració mitjana de cel·les en una zona urbanitzada de cada municipi per obtenir una mitjana per a cada municipi. El Departament de Medi Ambient i Habitatge de Catalunya també va encarregar-se de desenvolupar el mapa de les zones urbanitzades [8]. Es van dividir les cel·les de les zones urbanitzades situades entre dos o més municipis. Finalment, la mitjana ponderada per grups d'edat es va obtenir multiplicant la població d'una franja d'edat determinada de cada municipi per la concentració mitjana del municipi, i després es va dividir per la població total d'aquesta franja d'edat de l'àrea d'estudi.

A la **Taula 3.2** es presenta la mitjana de població ponderada que s'ha d'utilitzar com a concentració de l'exposició representativa de l'àrea d'estudi. En la **Figura 3.2** es presenta la superposició del mapa de superfícies de concentració amb les àrees urbanitzades. A la **Gràfica 3.1** es pot observar la concentració mitjana de PM₁₀ de cada municipi abans de la ponderació per població. Cal esmentar que aquests mapes de superfície constitueixen la base actual per a l'avaluació de les polítiques ambientals dirigides a aconseguir un aire més net a la zona de Barcelona i, de fet, en recolzen l'ús en aquesta valoració.

Taula 3.2. La concentració de l'exposició ponderada per la població utilitzada a l'HIA. Es presenta en intervals d'edat específics que es van solapant de manera que coincideixin amb els grups d'edat utilitzats en els diferents efectes per a la salut (vegeu apartat 3.4).

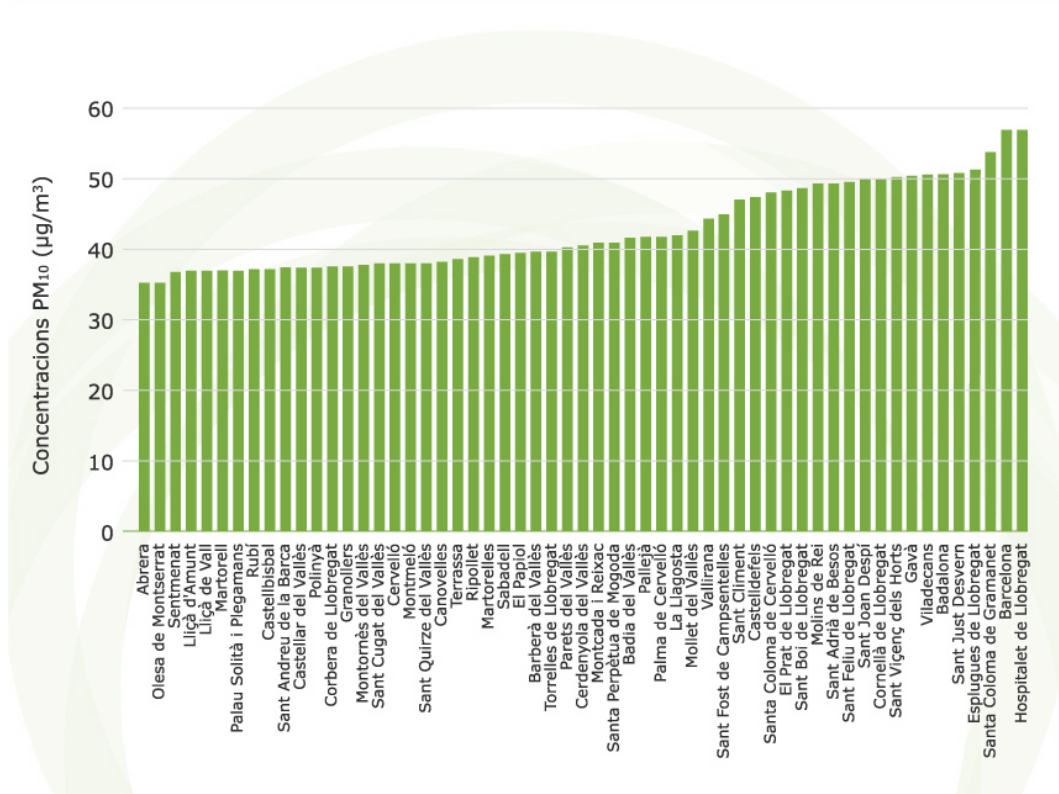
Edat	Població (2004)	% del total de població	Concentració de l'exposició a PM ₁₀ µg/m ³ (mitjana ponderada en funció de la població)
0-1	38.630	0,999	49,0
0-15	520.850	13,5	49,2
≥15	3.347.813	86,5	50,3
≥25	2.897.272	74,9	50,4
≥30	2.532.824	65,4	50,4
TOTES	3.868.663	100	50,1

Figura 3.2.



Model de la superfície de concentració de PM₁₀ a l'àrea metropolitana de Barcelona l'any 2004 [24]. Els quadrats representen les àrees urbanitzades. El contorn dels 57 municipis està superposat al mapa de superfície.

Gràfica 3.1.



Mitjana de concentracions de PM₁₀ a les zones urbanitzades dels 57 municipis inclosos a l'àrea d'estudi.

3.4 Efectes sobre la salut

3.4.1 Selecció dels efectes en la salut

Tot i que s'intenta que la valoració de l'impacte reflecteixi la càrrega total de contaminació atmosfèrica que afecta la salut, aquesta valoració només incloïa els efectes en què es disposava de dades que demostrassin que eren responsables de la contaminació atmosfèrica i per als quals es disposava de prou dades d'entrada, com les funcions concentració-resposta (FCR) i de prevalença o incidència dels efectes observats entre la població objecte d'estudi. A més, l'avaluació es va limitar als efectes en la salut que ja s'havien utilitzat en altres valoracions del risc realitzades a Europa i els EUA.

Per fer aquesta avaluació, es van estudiar tres grans grups d'efectes per representar la càrrega que exerceix la contaminació atmosfèrica de l'àrea metropolitana de Barcelona en la salut: les dades de mortalitat, morbiditat, inclosos símptomes de malalties cròniques i asma, i l'ús de l'assistència sanitària.

Quant a la mortalitat, l'impacte de la contaminació atmosfèrica és una combinació dels efectes a curt termini i els efectes acumulatius [25]. Per exemple, d'una banda, la contaminació atmosfèrica d'un dia concret podria desencadenar infarts de miocardi, accidents vasculars cerebrals o mort després d'uns quants dies o setmanes (efectes a curt termini o mitjà termini a causa de l'exposició a curt termini). D'altra banda, la contaminació atmosfèrica pot incrementar el desenvolupament de malalties cròniques que originen altres malalties, cosa que contribueix a reduir la vida de les persones que les pateixen. Els estudis que investiguen com afecta la contaminació atmosfèrica durant llargs períodes de temps a les taxes de mortalitat han demostrat que aquests efectes acumulatius són molt més grans que els efectes designats com a curt termini [26, 27]. Aquesta valoració determina tant els efectes a curt termini en les taxes de mortalitat per l'exposició a curt termini com els efectes crònics deguts a l'exposició a llarg termini i es considera que els efectes a llarg termini reflecteixen la càrrega total, que inclou els efectes acumulats d'altres traumatismes lleus. Per consegüent, els càlculs per als efectes a curt termini s'expressaran com una part del total. Les dades de mortalitat infantil (<1 any) s'han tractat de forma independent.

Entre els efectes de la contaminació atmosfèrica en la morbiditat hi ha una diversitat de símptomes que afecten els sistemes cardiovascular i respiratori. Es van utilitzar els símptomes de la bronquitis per avaluar els efectes de la contaminació atmosfèrica en la morbiditat. Per avaluar els efectes a curt termini es van considerar els ingressos hospitalaris urgents deguts a malalties cardiovasculars o respiratòries. A més, s'ha demostrat que la contaminació atmosfèrica té un impacte encara més greu en individus susceptibles, com és el cas dels asmàtics. Per tant, la possible contribució de la contaminació atmosfèrica en la reagudització dels símptomes d'asma (crisis d'asma) es va avaluar per separat en nens i en adults amb asma.

Tot i que es poden obtenir dades epidemiològiques dels efectes de la contaminació atmosfèrica amb altres resultats (com ara el registre de visites mèdiques i consultes d'urgències per problemes cardiorespiratoris, absències escolars i dies d'activitat restringida), no es van avaluar en aquest estudi, ja que no es disposa de dades de referència prou detallades per a la població estudiada o perquè les dades no són prou fiables en alguns casos.

3.4.2 Funció concentració-resposta i freqüència inicial dels efectes

Les funcions concentració-resposta (FCR) quantifiquen la relació entre un canvi en concentracions de contaminació atmosfèrica i el corresponent canvi en els efectes perjudicials per a la població. La FCR constitueix la informació més rellevant a l'hora de determinar els beneficis per a la salut que implicaria una reducció de la contaminació atmosfèrica.



Les FCR utilitzades en aquesta avaluació s'obtenen tant a partir de les utilitzades en un únic estudi com en una mitjana ponderada dels càlculs de diferents estudis epidemiològics. Per establir comparacions, s'ha optat per recórrer a les FCR utilitzades prèviament en altres valoracions europees de l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut. També s'han preferit les FCR de poblacions amb característiques comparables a les de la població de l'àrea d'estudi (per exemple, les FCR d'estudis europeus). En l'estudi de sensibilitat es presenten opcions alternatives per a la selecció de les FCR. De forma similar, quan no s'ha disposat de freqüències inicials dels indicadors en salut per a l'àrea de Barcelona, s'han seleccionat valors europeus.

En els apartats següents es detalla la font i el valor de les FCR, així com les freqüències de referència utilitzades per a cada efecte en la salut; aquesta informació es resumeix a la **Taula 3.3.**

Taula 3.3. Freqüències de referència o quantitat i funcions concentració-resposta utilitzades en la valoració de l'impacte en la salut a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Efectes	Age	Freqüència/nombre inicial de població		Funció concentració-resposta per a PM ₁₀		
		Número o percentage	Font	Mitjana (IC de 95%) por 10 µg/m ³	Font ¹	
Mortalitat						
Mort infantil (ICD10 A00-R99)	<1	117	Registre de defuncions de Catalunya de 2004	1,048 (1,022-1,075)	Conjunt de càlculs a Lacasaña <i>et al.</i> , 2005 [28]	
Efectes a curt termini Totes les causes (ICD10 A00-R99)	Totes	29.473	Registre de defuncions de Catalunya 2004	1,006 (1,004-1,008)	Conjunt de càlculs de L'OMS, 2004 [27]	
Causas respiratòries (ICD10 J00-J99)	Totes	3.052	Registre de defuncions de Catalunya de 2004	1,013 (1,005-1,021)	Conjunt de càlculs de l'OMS, 2004 [27]	
Causas cardiovasculars (ICD10 I00-I52)	Totes	9.489	Registre de defuncions de Catalunya de 2004	1,009 (1,005-1,013)	Conjunt de càlculs de l'OMS, 2004 [27]	
Efectes a llarg termini Totes las causes (ICD10 A00-R99)	≥30	29.187	Registre de defuncions de Catalunya de 2004	1,043 (1,026-1,061)	Conjunt de càlculs a Künzli <i>et al.</i> , 2000 [15]	
Morbiditat						
Malalties cròniques	Bronquitis crònica en adults	≥25	0,71%	ASHMOG Estats Units	1,098 (1,009-1,194)	Abbey <i>et al.</i> , 1993 [26]
	Bronquitis aguda en nens	<15	12,2%	SCARPOL Suïssa	1,306 (1,135-1,502)	Conjunt de càlculs de Künzli <i>et al.</i> , 2000 [15]
Síntomes relacionats amb l'asma	Crisis asmàtiques en adults	≥15	Asmàtics: 8,1% Promedio de crisis/año: 1.4	ECHRS II Barcelona	1,039 (1,019-1,059)	Conjunt de càlculs de Künzli <i>et al.</i> , 2000 [15]
	Crisis asmàtiques en nens	<15	Asmàtics: 7,2% Mitjana de crisis/any: 3	SARI Barcelona SCARPOL Suïssa	1,041 (1,020-1,051)	Conjunt de càlculs de Ward&Ayres, 2004 [29]
Ús de l'assistència sanitària						
Ingressos hospitalaris per causes respiratòries (ICD9 460-519)	Totes	34.593	CMBDAH Àrea Barcelona	1,011 (1,06-1,017)	APHEIS 3, 2005 [16]	
Ingressos hospitalaris per causes cardiovasculars (ICD9 390-429)	Totes	35.080	CMBDAH Àrea Barcelona	1,006 (1,003-1,009)	Le Tertre <i>et al.</i> 2002 [30]	

Notes: ¹. Fa referència a l'estudi del qual es va extreure el conjunt de càlculs. En el text es proporciona una descripció detallada dels estudis que s'han fet servir per obtenir el conjunt de càlculs.

3.4.2.1 Mortalitat i esperança de vida

Mort infantil

Pel que fa a la mortalitat infantil, l'FCR utilitzada es va basar en una estimació conjunta de càlculs obtinguts de diversos estudis sobre el possible impacte de la contaminació atmosfèrica en els fetus i els nens (de menys d'un any) publicats entre 1994 i 2003 [28]. Per consegüent, es va utilitzar una FCR representant un canvi del 4,8% en la mortalitat [Interval de Confiança del 95%: 2,2-7,5] per cada canvi de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de les PM_{10} de forma similar que en la recent HIA de l'ENHIS.

Efectes a curt termini en mortalitat

Com ja s'ha esmentat abans, l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la mortalitat és una combinació entre efectes a curt termini i els efectes acumulats. Es presenten càlculs per efectes a curt termini i es consideren com a part dels efectes totals acumulats descrits a continuació; per tant, els efectes a curt i llarg termini no s'haurien de sumar. L'FCR utilitzada per als efectes a curt termini sobre la mortalitat deguts a fluctuacions diàries en les concentracions atmosfèriques d'agents contaminants es va obtenir a partir d'una metanàlisi quantitativa de diversos estudis revisats sobre els efectes de l'exposició en la salut i l'exposició a curt termini a les partícules en suspensió [27] que ha desenvolupat l'OMS a partir d'estudis realitzats en 33 ciutats i regions europees diferents. La majoria de càlculs es van extraure de l'estudi "Efectes a curt termini de la contaminació atmosfèrica i la salut: un enfocament europeu" (APHEIS, per les sigles en anglès) [31, 32], on Barcelona va ser una de les ciutats estudiades. La metaanàlisi va proporcionar càlculs de les morts per causes cardiovasculars i respiratòries i totals. En el cas dels efectes totals, l'FCR representa un 0,6% (IC del 95%: 0,4-0,8) més de morts per cada canvi de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Es presenten càlculs per als tres tipus d'efectes, però es important ressaltar que les morts per causes específiques estan incloses en els efectes totals.

Efectes a llarg termini en la mortalitat (adults ≥ 30 anys)

Per poder fer comparacions amb altres HIA fetes a Europa (APHEIS-3), s'ha seleccionat una FCR procedent de dos estudis nord-americans, com es va proposar en l'estudi trinacional d'Àustria, França i Suïssa [15]. Els estudis es coneixen com l'estudi de la Societat de Càncer Nord-americana (American Cancer Society o ACS) [33] i l'estudi de Harvard de sis ciutats [34]. En ambdós estudis es van comparar cohorts àmpliament representatives de la població d'EUA. L'estudi ACS es va basar en mesures de $\text{PM}_{2,5}$, per la qual cosa la FCR havia de convertir-se a PM_{10} utilitzant els factors de conversió presentats anteriorment. La combinació dels dos estudis va tenir com a resultat una FCR del 4,3% (IC del 95%: 2,6-6,1) per cada canvi de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Recentment, una comissió d'experts [35] es va encarregar de tornar a analitzar les dades de l'estudi de l'ACS i es van ampliar les anàlisis [36] la qual cosa va confirmar els resultats obtinguts prèviament. Actualment, es disposa de cinc estudis europeus en què s'han investigat els efectes a llarg termini de la contaminació atmosfèrica urbana en la mortalitat [37-41]. Els cinc estudis han detectat relacions segures entre la mortalitat i l'exposició a llarg termini a la contaminació atmosfèrica deguda al trànsit, i han confirmat els càlculs que s'havien obtingut dels dos estudis nord-americans de cohorts. Tot i això, els estudis europeus utilitzen en part diferents mesures d'exposició i per aquest motiu no es va considerar oportú fer un ús directe d'aquests càlculs o d'una metanàlisi amb els dels EUA per a aquesta fase del projecte.

Freqüències de població

Les dades de totes les defuncions es van extreure del registre de mortalitat de Catalunya del Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya. S'inclouen les

dades de 2004 de cada municipi, encara que s'exclouen les morts per accidents o violència.

Increment de l'esperança de vida

Moltes anàlisis de risc d'aquest tipus proporcionen càlculs aproximats de morts atribuïbles. Això representa un enfocament molt comú per a altres tipus d'exposicions, en particular per expressar la càrrega deguda al consum del tabac. Si se suposa que una política disminueix la contaminació atmosfèrica des de l'1 de gener i durant un any sencer, sembla apropiat esperar que el nombre de morts durant aquest any sigui menor que el nombre de morts atribuïbles als efectes a curt termini. No obstant això, el concepte de mort atribuïble podria ser enganyós a llarg termini i particularment si se suposa que els "casos atribuïbles" equivalen als "casos evitables". En darrera instància, la mort no es pot prevenir mai i, si es considera una cohort de naixements, s'observa que tothom morirà independentment de si l'aire està net o no. A més, a llarg termini, el nombre de morts atribuïbles no és constant cada any, ja que la distribució de les edats varia en una població en què disminueixen les taxes de mortalitat. Així doncs, la població envella i el nombre total de morts disminueix progressivament en aquesta població envellida, amb la qual cosa també disminueix progressivament el nombre de morts atribuïbles. Degut a aquests conceptes restrictius de la mort atribuïble, s'ha proposat expressar l'impacte dels factors de risc en la mortalitat, quantificant els anys de vida perduts [20]. De fet, la conseqüència principal d'una reducció de les taxes de mortalitat és, de fet, l'increment de l'esperança de vida en la població i, per tant, la millor manera de quantificar els beneficis és en termes de temps guanyat [20]. Aquest enfocament també porta algunes limitacions i suposicions, però té avantatges conceptuals, en particular a l'hora d'expressar els beneficis a llarg termini (al cap d'anys o dècades) d'un canvi de la qualitat de l'aire i, especialment, quan aquests beneficis es tradueixen en termes de costos. A l'apartat 6 d'aquest informe es presenta una descripció detallada d'aquests enfocaments, els seus avantatges i les seves limitacions, conjuntament amb la valoració econòmica.

Així doncs, si s'accepta que la contaminació atmosfèrica en certa manera escurça la vida, es poden expressar els efectes beneficiosos per a la salut atribuïbles a una millora sostinguda de les concentracions atmosfèriques mitjançant l'augment de l'esperança de vida d'una població, en lloc de calcular el nombre de morts. L'esperança de vida és el temps que es calcula que encara queda de vida a una determinada edat. Aquest valor es pot obtenir fent servir les taules de vida que utilitzen, d'una banda, l'estructura d'edat observada de la població i, d'altra banda, les dades de mortalitat en funció de l'edat; així doncs, es pot calcular el nombre de supervivents i el nombre de morts "prematures" en cada categoria d'edat en els pròxims anys [42]. Les taules de vida assumeixen que la corba de supervivència per a una cohort determinada de naixement prediu el patró temporal de morts per a aquesta cohort. L'augment de l'esperança de vida per a un determinat escenari de contaminació atmosfèrica és la diferència entre l'esperança de vida calculada a partir de les dades de mortalitat en funció de l'edat (nivell de referència), que s'han observat en la població estudiada i la calculada amb les dades de mortalitat en funció de l'edat modificades amb l'FCR per un canvi en els nivells de contaminació atmosfèrica com defineix l'escenari de polítiques.

En aquesta avaluació, els increments de l'esperança de vida es van calcular seguint els mètodes de taules de vida proposats per Millar i Hurley [42].

3.4.2.2 Ingressos hospitalaris

L'FCR per a ingressos hospitalaris per causes respiratòries que s'ha utilitzat en aquesta avaluació es va desenvolupar dintre de l'informe AHPEIS-3, que feia servir dades de nou ciutats europees i desenvolupava un model de regressió

Poisson per establir la relació entre el recompte diari de tots els ingressos per causes respiratòries sobre les concentracions diàries de PM_{10} . L'FCR representa un canvi de l'1,1% en el nombre d'ingressos hospitalaris (IC del 95%: 0,6-1,7) per cada canvi de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} .

La funció de resposta a l'exposició dels ingressos hospitalaris per causes cardiovasculars utilitzada és la que va desenvolupar l'APHEA. Aquesta funció estudia la relació entre les causes cardíaques (Codi Internacional de Malalties revisió 9-CIM 9: 390-429) i els nivells diaris de PM_{10} a vuit ciutats europees amb models de regressió Poisson [30]. L'FCR representa un canvi del 0,6% (IC del 95%: 0,3-0,9) per cada canvi de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} .

El nombre d'ingressos per motius respiratoris i cardiovasculars es va extreure del Registre del Conjunt Mínim Bàsic de Dades de l'Alta Hospitalària (CMBDAH) del Catalunya, Espanya. Aquest registre compila dades de tots els hospitals públics de l'àrea metropolitana de Barcelona amb zona de cobertura de tots els municipis inclosos en aquest estudi, la qual cosa suggereix una bona aproximació del total d'ingressos. A més a més, s'ha calculat que les altes registrades pel CMBDAH representen un 98% de totes les altes del servei públic.

3.4.2.3 Morbiditat

Bronquitis crònica (adults ≥ 25 anys)

Com que no es disposa d'estudis europeus sobre les relacions entre les exposicions a llarg termini de la contaminació atmosfèrica i la morbiditat, l'FCR per a l'aparició de nou casos de bronquitis crònica (BC) en adults s'obté de l'estudi ASHMOG, una cohort formada per membres de l'Església Adventista del Setè Dia (a partir de 25 anys) dels EUA. Aquesta FCR és la mateixa que es va utilitzar en l'HIA de l'Estudi trinacional [15]. Aquesta cohort va investigar l'associació entre les concentracions ambientals acumulades a llarg termini i l'inici de la BC [26]. Aquest estudi es basava en el sistema mètric de les PTS. Després de la conversió, l'FCR representa un canvi del 9,8% (IC del 95%: 0,9-19,4) per cada canvi de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Altres HIA han valorat aquest efecte: el CAFE-CBA proposa dos càlculs del risc diferents que deriven de l'estudi original ASHMOG, un lleugerament inferior basat en les PM_{10} [43] que es va utilitzar per determinar-ne els resultats principals. En l'anàlisi de sensibilitat es comparen els càlculs amb aquesta FCR.

El càlcul de la freqüència inicial de nous casos de BC en la població no és senzill. No es disposa d'un control adequat d'aquesta malaltia, ni tampoc està ben definida en els estudis existents. Per tant la prevalença i la incidència poden variar substancialment segons la definició utilitzada per descriure una varietat de fenotips que se solapen (com ara bronquitis crònica, malaltia d'obstrucció pulmonar crònica, emfisema, etc.). A més, la freqüència d'aquests fenotips depèn molt dels hàbits de fumar de la població, ja que és una de les principals causes d'aquesta malaltia.

Perquè concordi internament amb l'FCR, hem aplicat als càlculs una incidència de BC com la que s'ha observat i definit en l'estudi ASHMOG [26], és a dir, el mateix estudi del que es va obtenir l'FCR. Els nous casos de BC representen un 0,71% anual en la població ASHMOG. L'avantatge d'aquesta selecció és que la població de l'Església Adventista del Setè Dia normalment no és fumadora de per vida, per la qual cosa les observacions de l'estudi ASHMOG [26] s'apliquen millor a no-fumadors i no estan afectats pel tabac, un factor de risc que contribueix substancialment a la BC.

Tanmateix, biològicament és molt més plausible que els contaminants afectin en certa manera aquests fenotips interrelacionats que una única definició de BC. Per tant, en l'estudi de sensibilitat es presenten uns càlculs aproximats per a una definició alternativa de BC com es va proposar en el CAFE-CBA.

Bronquitis aguda en nens (< 15 anys)

Com que no es disposa d'estudis locals sobre els efectes en els nens de l'exposició a llarg termini a la contaminació atmosfèrica, l'FCR per a l'aparició de casos de bronquitis aguda es va obtenir de diversos estudis que s'havien utilitzat prèviament a l'HIA trinacional. El càlcul conjunt prové de tres estudis [44-46] per a intervals d'edat de 10-12, de 8-12 i de 6-15, respectivament. Els estudis es van fer entre el 1980 i el 1991. La definició de bronquitis era "li han diagnosticat bronquitis al vostre fill/a en els últims 12 mesos?", "el vostre fill/a ha patit bronquitis durant els últims 12 mesos?", i "el vostre fill/a ha patit alguna insuficiència respiratòria en els últims 12 mesos?". Per tant, l'FCR representa un canvi del 30,6% (IC del 95%: 13,5-50,2) per cada 10 µg/m³ PM₁₀.

Com que no es disposa de freqüències de referència a l'àrea metropolitana de Barcelona que coincideixin amb la definició de bronquitis aguda en nens de l'FCR, es va preferir servir la prevalença del 12,2% de l'estudi SCARPOL. L'SCARPOL és un estudi transversal que es va realitzar l'any 1992-1993 i que va investigar la relació entre l'exposició a llarg termini a la contaminació atmosfèrica i la salut i les al·lèrgies respiratòries en els nens de Suïssa. L'estudi SCARPOL també va contribuir a obtenir l'FCR [46].

Crisis asmàtiques en adults (≥ 15 anys)

Com que no es disposa de càlculs més recents, l'FCR per a l'aparició de crisis d'asma en adults que es va utilitzar es va obtenir i presentar per primera vegada a l'HIA trinacional [15]. El càlcul conjunt es va extreure de tres estudis de cohorts europeus realitzats en adults [47-49]. El període de recerca es va establir entre 1992 i 1995, i les crisis es van definir com sibilacions o insuficiències respiratòries. L'FCR representa un canvi del 3,9% (IC del 95%: 1,9-5,9) per cada 10 µg/m³ PM₁₀.

El nombre d'asmàtics i d'atacs d'asma per adults es va obtenir de l'Enquesta de Salut Respiratòria de la Comunitat Europea (ECRHS) II i I, respectivament, per a Barcelona. Es va considerar que el nombre d'adults asmàtics era d'un 8,1% basant-se en les preguntes "Heu patit asma algun cop?" i "Ho ha confirmat un metge?". La mitjana de crisis d'asma per adult asmàtic va ser d'1,4, segons la pregunta "Quantes crisis d'asma heu patit en els últims 12 mesos?". Es va observar que, en el cas de Barcelona, la freqüència d'asma en els adults era lleugerament inferior a la que es va observar en altres llocs estudiats a l'ECRHS (11,6%), on la mitjana de crisis per adult era de 3,6.

Crisis asmàtiques en nens (< 15 anys)

L'FCR utilitzada per a les crisis d'asma es basava en un càlcul conjunt procedent d'una revisió sistemàtica dels resultats dels efectes a curt termini de la contaminació atmosfèrica per partícules en nens [29]. Els criteris de valoració d'aquest estudi eren els símptomes de l'aparell respiratori inferior. L'FCR representa un canvi del 4,1% (IC del 95%: 2,0-5,1) per canvi de 10 µg/m³ de PM₁₀. L'FCR conjunta es troba en el mateix interval que l'obtingut en altres estudis que investiguen les exacerbacions de símptomes i asma. Es va fer servir el mateix càlcul FCR que a l'HIA de l'ENHIS.

Com que no es disposa de dades per a l'àrea metropolitana de Barcelona que coincideixin amb la definició de l'FCR, el total de crisis d'asma per nen asmàtic s'ha obtingut de l'estudi SCARPOL. En l'estudi es va preguntar als participants quants atacs d'asma havien tingut en els darrers 12 mesos. El total d'asmàtics subjacent es va obtenir de l'estudi transversal realitzat a Barcelona (SARI, Estudio sobre la Salut Respiratòria en la Infància), que va tenir com a resultat una prevalença d'asma basada en 10.821 nens de 7 a 8 anys seleccionats de centres d'educació primària de Barcelona i Sabadell. Per consegüent, la freqüència de

nens asmàtics a Barcelona obtinguda en aquesta avaluació és del 7,2% i la mitjana de crisis d'asma per nen diagnosticades és de 3.

3.5. Escenaris d'interès

Atesa la complexitat de les causes de la contaminació atmosfèrica, per reduir-la substancialment és necessari aplicar tot un ventall d'estratègies, algunes de les quals impliquen millores immediates, mentre que d'altres són objectius a llarg termini. Per reflectir la millora contínua de la qualitat de l'aire, es proporcionen càlculs de risc per a dos escenaris hipotètics. El primer escenari calcula els beneficis per a la salut si la qualitat de l'aire, que conté PM₁₀, complís les directrius sobre la qualitat de l'aire que recomana l'OMS (un nivell mitjà anual de 20 µg/m³ de PM₁₀ o inferior) per protegir la salut humana.

El segon escenari calcula els beneficis per a la salut si es fes el pas intermedi de reduir la contaminació atmosfèrica, és a dir, reduir els nivells actuals de PM₁₀ fins a l'estàndard de qualitat de l'aire que estableix la UE. La normativa de la UE estableix que els nivells de PM₁₀ no haurien de superar una mitjana anual de 40 µg/m³. Així doncs, aquest és l'objectiu que les autoritats de l'àrea metropolitana de Barcelona s'han proposat per al 2010. Si es compara amb altres valoracions dels riscos, no es va avaluar la càrrega total de la contaminació atmosfèrica, és a dir, es va ignorar l'impacte de les concentracions de PM₁₀ inferiors a 20 µg/m³. Tanmateix, no hi ha dades que demostrin l'existència d'un límit en el qual no es produeixin efectes i, per tant, s'espera que els beneficis relacionats amb la reducció de les concentracions per sota de 20 µg/m³ siguin proporcionalment més grans.

3.6. Quantificació dels beneficis per a la salut

3.6.1 Casos atribuïbles

Els beneficis dels canvis en la contaminació atmosfèrica s'expressen com a casos atribuïbles. Els casos atribuïbles s'obtenen de fraccions de població atribuïbles que es calculen amb les FCR, que sovint es corresponen amb un risc relatiu (RR), i el nombre exposat a la comunitat d'interès. Els RR o formes de quantificació similars provenen d'estudis epidemiològics i representen la proporció entre la freqüència de casos en un grup que ha estat exposat i un grup de control que no ha estat exposat i que s'ha ajustat mitjançant diferents covariables per evitar una possible confusió. La fórmula bàsica per obtenir la fracció de població atribuïble (FA_{pop}) del total de població és la següent:

$$AF_{pop} = \frac{p_p x(RR - 1)}{p_p x(RR - 1) + 1}$$

on p_p representa la fracció de la població exposada al factor (mediambiental) que s'està investigant, i RR la funció concentració-resposta per al canvi d'exposició considerat. En general, es pot escollir l'FCR de dues maneres: utilitzant una estimació d'una recerca realitzada en una zona estudiada, com Barcelona en el nostre cas, o obtenint un conjunt de càlculs de concentració-resposta a partir d'un conjunt de funcions FCR ja publicades. Com en altres HIA, s'ha optat pel segon enfocament, ja que la disponibilitat d'FCR per al cas de Barcelona és limitada.

Si tota la població s'ha vist exposada, com és el cas típic dels estudis de contaminació atmosfèrica, la p_p equival a 1 i la fórmula anterior es pot simplificar

en l'equació següent, que equival a la fracció atribuïble entre els que han estat exposats.

$$AF_{\text{exp}} = \frac{RR - 1}{RR}$$

Amb aquesta fórmula, s'obtenen els casos atribuïbles multiplicant AF_{exp} pel nombre total de casos observats a la població. Aquest resultat es pot obtenir tant amb un recompte directe com multiplicant la freqüència subjacent coneguda o suposada d'efectes en la població pel total de població. A continuació es presenten dues fórmules alternatives per obtenir el nombre de casos atribuïbles:

$$\text{Casos atribuïbles} = AF_{\text{exp}} \times I_t \times N$$

o

$$\text{Casos atribuïbles} = AF_{\text{exp}} \times N_c$$

on I_t és la freqüència subjacent de l'efecte en la població, N_c és el nombre de persones de la població que presenten aquest efecte, i N és el nombre total de persones de la població que s'està estudiant.

Per escalar l'FCR obtinguda de les dades publicades als contrastos d'interès de l'exposició a l'HIA, s'ha de modificar l'RR segons es mostra a continuació:

$$RR = e^{\text{Ln}(RR_{\text{published}} / \text{Unit}_{\text{published}}) \times \Delta \text{exp}}$$

on Δexp és el canvi de concentració esperat en l'escenari que s'està estudiant i $\text{Unit}_{\text{publicades}}$ és la unitat per a la qual es va publicar o obtenir l'RR.

Finalment, els models estadístics utilitzats en els estudis epidemiològics solen proporcionar *odd ratio* (OR, per raons de possibilitats) a partir de models de regressió logística en lloc d'RR. En el cas d'efectes poc freqüents, els RR i les OR són similars, mentre que, en el cas d'efectes freqüents i quan l'OR és gran, l'OR pot sobreestimar el veritable RR. Per tenir-ho en compte, quan s'ha considerat adequat, es van corregir les OR amb la fórmula estàndard [50].

$$RR = \frac{OR}{1 + I_t \times (OR - 1)}$$

on I_t és la freqüència de l'efecte en la població estudiada.

3.6.2 Nombre d'impactes

A més dels casos atribuïbles, també es descriuen els resultats obtinguts amb el nombre d'impactes per cas ("case impact number" o CIN, per les sigles en anglès). Aquesta mesura s'ha desenvolupat per ajudar a representar l'impacte que pot comportar un canvi d'exposició en la població [51]. Una CIN és la quantitat de persones amb la malaltia per a les quals un cas és atribuïble a l'exposició i, de fet, és recíproca a l' AF_{pop} . Pel que fa a exposicions que inclouen tota la població, la CIN es calcula amb la fórmula següent:

$$CIN = \frac{RR}{RR - 1}$$

3.7. Expressió d'incertesa

Totes les etapes descrites en els paràgrafs anteriors es presenten amb una sèrie de suposicions i incerteses, que difereixen en funció de l'efecte estudiat. Per tant, l'avaluació de la càrrega i dels beneficis no és una reflexió precisa de la realitat, sinó un càlcul aproximat del que s'espera que podria canviar en la salut pública si només millorés la qualitat de l'aire. Per reflectir les incerteses en aquests càlculs, els avaluadors del risc sovint proporcionen límits per als càlculs puntuals. A més, hi ha incerteses i suposicions que no es poden quantificar i per tant, que no estaran representades dins d'aquests límits. Per consegüent, una altra forma d'expressar les incerteses consisteix a calcular els riscos a partir de diferents suposicions. Això permet proporcionar una idea de la sensibilitat dels resultats principals a les suposicions subjacents i als canvis en les dades.

En aquesta avaluació s'ha escollit una estratègia similar a la d'altres projectes. En primer lloc, tots els resultats s'han arrodonit a decimals i centenars i milers. En segon lloc, s'ha proporcionat un càlcul puntual amb un valor límit superior i inferior. Aquests límits es basen solament en la incertesa de l'FCR que es publica en els estudis epidemiològics. S'ha escollit arbitràriament un interval de confiança del 5 i 95 per cent de l'FCR (IC del 95%) que correspon a $\pm 1,96$ vegades l'error estàndard (EE) d'aquests càlculs. En canvi, altres anàlisis de risc han utilitzat $\pm 1,0$ EE, per la qual cosa proporcionen límits més ajustats [52]. En tercer lloc, s'ha dut a terme una sèrie d'anàlisis de sensibilitat utilitzant suposicions alternatives per a les dades i suposicions amb més influència o ambigüitat. Així s'ha obtingut una idea de la influència general d'aquests factors.

4. Resultats

A la **Taula 4.1** es presenten els beneficis per a la salut que es podrien aconseguir si la mitjana anual de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduís a 20 µg/m³ i 40 µg/m³, respectivament. Com es mostra, amb els nivells més estrictes de l'OMS s'obtidrien aproximadament el triple de beneficis que si s'apliquessin els estàndards actuals de la UE per a la qualitat de l'aire. A continuació es descriuen els resultats per cada efecte en la salut.

Taula 4.1. Possibles beneficis anuals per a la salut si la mitjana anual de PM₁₀ es reduís a l'àrea metropolitana de Barcelona. S'expressen segons el nombre de casos que s'evitarien i el percentatge respecte del total de casos.

Efectes en la salut		Edat	Beneficis per a la salut (IC del 95%)			
			Reducció de la concentració mitjana anual fins a 20 µg/m ³		Reducció de la concentració mitjana anual fins a 40 µg/m ³	
			Nombre de casos evitats	% del total de casos	Nombre de casos evitats	% del total de casos
Mortalitat						
Mort infantil	Tots	<1	15 (7-22)	13 (6-19)	5 (2-7)	4 (2-26)
Mort deguda 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	3.500 (2.200-4.800)	12 (7-16)	1.200 (760-1.700)	4 (3-6)
Ingressos hospitalaris						
	Causas respiratòries	Totes	1.150 (630-1.670)	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	5.100 (550-8500)	25 (3-41)	1.900 (190-3400)	9 (1-17)
	Bronquitis aguda en nens	<15	31.100 (17.500-40.500)	49 (28-64)	12.100 (6.100-17.400)	19 (10-27)
Síntomes relacionats amb l'asma	Crisis d'asma en adults	≥15	41.500 (21.000-60.500)	11 (6-16)	14.700 (7.300-21.800)	4 (2-6)
	Crisis d'asma en nens	<15	12.400 (6400-15200)	11 (6-14)	4.000 (2.100-5.000)	4 (12-5)



4.1 Mortalitat

4.1.1 Morts atribuïbles

Es calcula que, si els nivells actuals anuals de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 20 µg/m³, es produiria un descens del nombre de morts prematures anuals de 3.500 (IC del 95%: 2.200-4.800). Aquest càlcul inclou 520 morts (IC del 95%: 350-690) per efectes a curt termini en la mortalitat i 15 morts (IC del 95%: 7-22) atribuïdes a mortalitat infantil (< 1 any).

És a dir, si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona reduïssin els seus nivells actuals a una mitjana anual de 20 µg/m³ com recomana l'OMS, el nombre de morts anuals per causes naturals a la zona esmentada també es podria veure reduït en un 12% (IC del 95%: 7%-16%), la qual cosa representa una de cada 8 (IC del 95%: 6- 13) persones que moren per causes naturals.

La situació intermèdia d'una reducció de la concentració de PM₁₀ a 40 g/m³ comportaria un terç dels beneficis esmentats anteriorment. És a dir, el nombre de defuncions anual es podria reduir a 1.200 (IC del 95%: 760-1.700) o un 4% (IC del 95%: 3%-6%) de tots els casos, cosa que representa una de cada 24 (IC del 95%: 17-38) persones que moren a l'àrea metropolitana de Barcelona i que es podrien atribuir a la contaminació atmosfèrica per sobre dels nivells establerts per la UE.

4.1.2 Increment de l'esperança de vida

Com s'ha esmentat en l'apartat de mètodes, a la llarga, els canvis en l'esperança de vida constituïrien una manera més apropiada d'expressar els beneficis que implicaria la reducció de la contaminació atmosfèrica en la taxa de mortalitat. A la **Taula 4.2** es mostra un resum dels increments de l'esperança de vida que s'esperen si es redueix la contaminació atmosfèrica. Si la mitjana anual actual de PM₁₀ es redueix a 20 µg/m³, com recomana l'OMS, s'esperaria un increment mitjà de 14 mesos (IC del 95%: 9-20) de l'esperança de vida en una persona de 30 anys, ja que es redueix el risc de mort per qualsevol causa.

Si els nivells de PM₁₀ es redueixen a 40 µg/m³, s'espera que l'esperança de vida d'una persona de 30 anys augmenti una mitjana de 5 mesos (IC del 95%: 3-7). Aquest resultat representa aproximadament un terç dels beneficis obtinguts amb la proposta de l'OMS. El 2004, l'esperança de vida d'un individu de 30 anys a Catalunya va ser de 51,53 anys i una esperança de vida en néixer de 80,75 anys [53].

Taula 4.2. Beneficis per a la salut expressats en forma de temps de vida guanyats en el cas d'una reducció de la mitjana anual de PM₁₀ a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Resultats	Unitat	Edat	Beneficis per a la salut (IC del 95%)	
			Reducció de la concentració mitjana anual fins a 20 µg/m ³	Reducció de la concentració mitjana anual fins a 40 µg/m ³
Increment de l'esperança de vida	Mesos	30	14 (9-20)	5 (3-7)

4.2 Ingressos hospitalaris

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 20 µg/m³, el total d'ingressos hospitalaris també es podria veure reduït en 1.150 (IC del 95%: 630-1.670) casos anuals per causes respiratòries i a 620 (IC del 95%: 310-930) casos anuals per causes cardiovasculars. Aquest resultat representa un 3% (IC del 95%: 2% - 5%) de tots els ingressos hospitalaris anuals per causes respiratòries i un 2% (IC del 95%: 1% - 3%) dels

que es deuen a causes cardiovasculars. En termes de quantitat d'impactes, significa que per cada 30 (IC del 95%: 21-55) i 56 (IC del 95%: 38-111) ingressos hospitalaris per motius respiratoris i cardiovasculars, respectivament, es podria evitar un cas si es reduís la contaminació atmosfèrica al nivell que recomana l'OMS.

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 40 µg/m³, com en la situació intermèdia, el nombre d'ingressos hospitalaris també es podria reduir en un 1% (IC del 95%: 0,6%-2%) per causes respiratòries i en un 0,6% (IC del 95%: 0,3%-0,9%) per causes cardiovasculars.

4.3 Morbiditat

4.3.1 Malalties cròniques

4.3.1.1 Bronquitis cròniques en adults (>25 anys)

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 20 µg/m³, el nombre d'adults amb bronquitis crònica podria reduir-se a 5.100 (IC del 95%: 550-8.500) l'any o en un 25% (IC del 95%: 3%-41%) del total de casos, la qual cosa representa un de cada 4 (IC del 95%: 2-37) adults amb bronquitis crònica a la zona.

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 40 µg/m³, com en la situació intermèdia, el nombre d'adults amb bronquitis crònica també es podria reduir en un 9% (IC del 95%: 1%-17%).

4.3.1.2 Bronquitis agudes en nens (<15 anys)

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 20 µg/m³, el nombre de nens amb bronquitis aguda es podria reduir a 31.100 (IC del 95%: 17.500-40.500) casos anuals o en un 49% (IC del 95%: 28%-64%), la qual cosa representa un de cada 2 (IC del 95%: 2-4) nens amb bronquitis aguda a la zona.

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 40 µg/m³, com en la situació intermèdia, el nombre de casos de bronquitis aguda en nens atribuïbles a la contaminació atmosfèrica també es podria reduir en un 19% (IC del 95%: 10%-27%).

4.3.2 Síntomes relacionats amb l'asma

4.3.2.1 Crisis d'asma en adults (≥15 anys)

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 20 µg/m³, el nombre de crisis asmàtiques en adults es podria reduir a 41.500 (IC del 95%: 21.000-60.500) casos anuals o en un 11% (IC del 95%: 6%-16%) de tots els atacs d'asma.

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 40 µg/m³, com en la situació intermèdia, el nombre de crisis d'asma en adults també es podria reduir en un 4% (IC del 95%: 2%-6%) anual.

4.3.2.2 Crisis d'asma en nens (<15 anys)

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 20 µg/m³, el nombre d'atacs d'asma en nens es podria reduir a 12.400 (IC del 95%: 6.400-15.200) o en un 11% (IC del 95%: 6%-14%) de totes les crisis d'asma observades anualment.

Si els nivells de PM₁₀ de l'àrea metropolitana de Barcelona es reduïssin a una mitjana anual de 40 µg/m³, com en la situació intermèdia, el nombre de crisis asmàtiques també es podria reduir en un 4% (IC del 95%: 2%-5%).

5. Discussió i anàlisi de sensibilitat

5.1. Comentaris generals

Aquest estudi demostra que la millora de la qualitat de l'aire a l'àrea metropolitana suposaria beneficis notables per a la salut. Si els nivells de PM₁₀ complissin els límits actuals de la UE, la mortalitat podria reduir-se un 4%. Assolir els estàndards de qualitat proposats per l'OMS com a mesura per protegir la salut de les persones podria comportar uns beneficis fins a tres vegades superiors.

Per tal de fer una millor interpretació dels resultats, és important tenir en compte que hi ha una sèrie de suposicions i d'incerteses inevitables a l'hora de realitzar aquest tipus de valoracions de risc. Més important encara és considerar aquests resultats com una indicació de la magnitud dels beneficis que es podrien obtenir i no pas com xifres exactes. Tal com es comenta en els paràgrafs següents, moltes de les suposicions escollides i, en particular, la manca de dades, comporten una subestimació o una valoració incompleta de l'impacte, per la qual cosa s'espera que els beneficis per a la salut pública siguin més grans que els presentats en aquest estudi.

Els resultats totals presentats pertanyen a un àmbit d'estudi concret. Els resultats relatius a zones geogràfiques més petites (com ara l'àmbit municipal) produirien una incertesa més gran, atès que les freqüències dels efectes en la salut i les concentracions d'exposició poden ser diferents respecte de les de la zona d'estudi més àmplia. El mapa de concentracions de PM₁₀ i la distribució de la població mostren que els resultats estan àmpliament influenciats per la coincidència de l'elevada densitat de població i les concentracions de PM₁₀ del municipi de Barcelona i d'alguns altres municipis. Aquestes són les raons per les quals els resultats no s'expressen en funció del municipi.

Hi ha altres incerteses relacionades amb el desenvolupament d'aquests càlculs que impliquen cada un dels components metodològics, com ara la selecció d'efectes en la salut i la freqüència amb què apareixen, les FCR, la selecció dels indicadors de contaminació i la distribució corresponent de l'exposició de la població. A continuació, en la **Taula 5.1** es presenta una revisió d'aquestes incerteses que resumeix els efectes esperats en funció dels càlculs dels diferents elements utilitzats en les HIA. La secció 5.4 proporciona una anàlisi de sensibilitat del grau d'impacte sobre els càlculs d'algunes de les fonts d'incerteses identificades amb els efectes més greus.

El marge dels càlculs presentades a les taules basa en la incertesa derivada de les FCR. Per a cada efecte es proporcionen tres càlculs aproximats a partir de la inversa de les FCR: el càlcul principal, juntament amb un límit superior i un d'inferior, però cal esmentar que no tots els valors situats entre aquests intervals reflecteixen amb la mateixa probabilitat la vertadera funció (desconeguda). En general, és més probable que els valors més propers al càlcul principal siguin més apropiats, mentre que els límits superior i inferior són alternatives més extremes i menys probables. Tanmateix, també seria possible que la veritable associació (no observada) entre les PM₁₀ i la salut sigui més gran o més petita que els càlculs observats. La possibilitat d'aquests dos darrers casos és de tan sols un 5%.

Les nostres anàlisis principals es quantifiquen únicament en la incertesa de les FCR. No es desenvolupa distribucions d'incertesa més complexes en funció dels models de probabilitat per integrar altres incerteses, ja que es requereixen dades addicionals de les quals no es disposa per a Barcelona. No obstant això, a continuació es discuteixen diverses fonts d'incertesa i la sensibilitat a les suposicions alternatives.

Taula 5.1. Resum dels efectes esperats en funció dels càlculs obtinguts dels diferents elements utilitzats a l'HIA

Elements	Efecte esperat segons els càlculs
Funcions de concentració-resposta	
Alguns estudis recents suggereixen unes FCR més grans en el cas de la mortalitat (a llarg termini)	↓
Transferibilitat des d'altres entorns	→?
Efectes en la salut	
Nombre d'efectes avaluats	↓
Funció de les malalties cròniques en les exacerbacions agudes	↓
Freqüència dels efectes en la salut	→?
Definició dels efectes	→↑
Exposició de la població	
Elecció de la concentració d'exposició a PM ₁₀	→
PM ₁₀ com a indicador de la contaminació atmosfèrica	↓

Notes:

↑: és probable que s'hagin sobreestimat els efectes

→: és probable que els efectes ens els càlculs siguin mínims

↓: és probable que s'hagin subestimat els efectes

5.2 Funció de concentració-resposta

L'FCR és un dels components amb més influència en els càlculs d'impacte en la salut. Per tal d'analitzar els efectes a llarg termini sobre la mortalitat, es van utilitzar antigues FCR realitzades als EUA en lloc de fer servir càlculs més recents fets a Europa, per portar a terme comparacions amb altres HIA i per no haver d'utilitzar factors de conversió addicionals. A més, els estudis més antics van publicar càlculs per a les PM₁₀, mentre que els estudis més recents utilitzen PM_{2.5} per a les quals, en moltes zones de l'àrea metropolitana de Barcelona, no es disposa de superfícies de concentració ni de dades de monitors fixos. Una comparació dels càlculs realitzats als EUA i a Europa referents als agents contaminants habituals va mostrar que els càlculs del risc concordaven en les diferents regions. Per exemple, tal com informa l'estudi francès [39], si assumim que el fum negre (FN) reflecteix aproximadament la PM_{2.5}, la proporció de risc de mortalitat ajustada i associada a una variació de 10 µg/m³ a les PM_{2.5} era d'1,06 (IC de 95%: 1,02-1,11), a un dels estudis nord-americans [33], i d'1,07 (IC de 95%: 1,03-1,10) a l'estudi francès. No obstant això, cal destacar que l'obtenció recent de noves dades referents a l'associació entre l'exposició a llarg termini a la contaminació ambiental i la incidència de malalties cardiovasculars, incloent-hi la mort, [54, 55] semblen indicar que la magnitud dels efectes a llarg termini sobre la salut podrien ser molt més greus del que semblava en els estudis anteriors. Si bé cal verificar-ho amb altres estudis epidemiològics, l'FCR per a la mortalitat total podria ser fins i tot més elevada que la que s'ha utilitzat en aquesta avaluació. Aquesta també va ser la conclusió d'un projecte de sol·licitació a experts desenvolupat per l'EPA dels EUA [56]. Per tant, és probable que en la valoració del risc del CREAL s'hagi subestimat l'impacte total de l'exposició per a la mortalitat.

La magnitud i l'interval de les FCR per atacs d'asma s'han confirmat en diferents estudis, per tant les incerteses tenen un paper menys predominant. En canvi, la incertesa augmenta respecte dels càlculs relatius a la BC, ja que només es basen en una FCR desenvolupada en un estudi realitzat als EUA [26]. Els càlculs de risc derivats d'aquet mateix estudi que s'han trobat eren lleugerament més baixos, i també molt més elevats, per la qual cosa no és possible especificar el grau i la direcció de la incertesa. S'ha observat en molt altres estudis, com els portats a terme a Suïssa [57], a Alemanya [58] o entre dones europees [59], que la prevalença d'aquests símptomes està relacionada amb la contaminació atmosfèrica. En canvi, fins ara només hi ha un estudi de cohorts amb una FCR relativa a la incidència dels símptomes de la BC, una mesura més idònia per a l'avaluació de riscos i beneficis. Els estudis d'epidemiologia futurs haurien de poder resoldre aquesta mancança i conduir a modificar els mètodes de l'HIA per calcular l'impacte en els símptomes crònics en adults.

Un altre tipus d'incertesa és la relacionada amb la capacitat de transferir els resultats de les FCR d'estudis realitzats a zones fora de l'àrea metropolitana de Barcelona. Per a alguns dels efectes en la salut seleccionats, no hi ha estudis realitzats a Barcelona, per tant la comparació es dificil. Per a altres efectes per als quals es disposa de càlculs de Barcelona, en general s'ha escollit una FCR que representa un conjunt de càlculs de diverses ciutats que, en general, és més precís que els càlculs relatius a una sola localitat. S'han realitzat diversos estudis dels efectes a curt termini sobre la mortalitat a Barcelona. Aquests estudis confirmen la magnitud general dels efectes, tot i que alguns càlculs són lleugerament superiors a Barcelona [32]. Això pot ser conseqüència d'una major exposició de la població, a causa del tipus de desenvolupament residencial en aquesta zona. També poden intervenir-hi altres factors com ara les diferències climàtiques, les característiques dels habitatges, el temps passat fora de casa, l'activitat física, l'alimentació, si la persona és fumadora o no, la situació socioeconòmica i l'accés a l'assistència sanitària. A més, la possibilitat que apareguin subgrups especialment vulnerables dins la població estudiada, com són les persones grans o asmàtiques, entre altres, en comparació amb la població per a la qual es va obtenir l'FCR, també pot influenciar la magnitud de l'estimació. D'aquesta manera, i atès que els efectes observats a Barcelona van ser lleugerament superiors, el fet d'haver utilitzat unes FCR comunes pot contribuir a una subestimació dels efectes a curt termini en la mortalitat.

5.3 Efectes en la salut

Malgrat que la majoria dels efectes per a la salut provocats per la contaminació atmosfèrica són casos de malalties cròniques i mortalitat prematura, hi ha altres conseqüències relacionades amb la contaminació atmosfèrica. Determinades efectes clínics, com les alteracions de la funció pulmonar, les visites mèdiques, les absències escolars, els dies d'activitats restringides o les visites a urgències, no formen part en la valoració, per la qual cosa és probable que es produeixi una subestimació dels beneficis totals. No obstant això, és probable que alguns d'aquests efectes quedin reflectits en els càlculs relatius a les conseqüències clíniques presentats en aquest estudi. Un exemple és la probabilitat que les persones que arriben al servei d'urgències hagin de ser hospitalitzades. També és molt probable que els nens amb asma que presenten símptomes aguts a causa de l'asma hagin de rebre assistència mèdica. A més, la reducció de l'activitat pulmonar (factor que no s'ha considerat en aquest estudi d'impacte), és un element important per a la predicció de l'esperança de vida que, alhora, forma part del nostre estudi. De manera similar, no s'han fet càlculs separats per a casos de càncer pulmonar. Tot i això, és probable que l'impacte sobre la mortalitat total inclogui casos de càncer de pulmó, ja que les taxes de mortalitat d'aquesta malaltia continuen sent molt elevades.

Pot ser, però, que els beneficis totals estiguin subestimats principalment pel que fa als efectes menys greus. Aquests efectes s'haurien pogut obtenir avaluant indicadors socials com la pèrdua de dies de treball o de dies d'activitats restringides, però no es van incloure en aquesta fase del projecte a causa de la manca de dades locals per a aquests tipus d'indicadors que coincideixin amb les FCR. A la **Taula 5.2**, es presenta els efectes associats a la contaminació atmosfèrica analitzats en aquest estudi, així com els que s'han omès. Cal recordar que les dades que recolzen la idea d'una associació causal entre la contaminació atmosfèrica i algun d'aquests indicadors encara no són totalment fiables (com en el cas dels efectes en el sistema reproductiu) i que és necessari continuar amb la recerca per tal d'entendre el grau d'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut.

S'ha suposat que la contaminació atmosfèrica ambiental només és un factor de risc en casos d'empitjorament agut de l'asma. Tot i que encara no és definitiu, diversos estudis fan pensar que la contaminació atmosfèrica i, en especial, les emissions derivades del trànsit, poden contribuir en l'aparició d'asma en infants. Més concretament, sembla que els nens que viuen prop de carrers amb molta circulació presenten taxes d'asma més elevades [6]. Segons aquest model, els beneficis generals per a la salut pública derivats de la combinació dels efectes a curt i a llarg termini seran més grans que els presentats en aquest estudi. També es dona la mateixa situació per a altres malalties com ara la malaltia pulmonar obstructiva crònica o l'arteriosclerosi. Alguns estudis preliminars realitzats en animals i persones recolzen aquesta hipòtesi, tot i que encara no s'ha comprovat que la contaminació atmosfèrica sigui una causa subjacent del desenvolupament d'aquestes malalties.

Els efectes en la salut relatius a la freqüència de crisis d'asma i episodis de bronquitis aguda en infants es van haver d'extrapolar d'altres estudis realitzats en països veïns. La comparació de les freqüències d'altres efectes en la salut relacionades amb les anteriors, per als quals es disposa de dades a Barcelona i a altres països europeus, indiquen que Barcelona es troba dins el límit de variació observat a Europa. Per exemple, la prevalença de bronquitis crònica en els adults estudiats a ECHRS I a Barcelona va ser del 2,3% en comparació amb una mitjana del 3,2% (IC del 95%: 1,17%-7,59%) per a totes les ciutats. A Basilea, Suïssa, la prevalença va ser del 2,03%. Així doncs, es pot assumir que la freqüència utilitzada per a aquestes efectes es trobaria dins l'interval de variabilitat esperat. Habitualment, sembla que la càrrega és molt elevada quan es manifesten símptomes de bronquitis en nens. No obstant això, s'han fet com a mínim dos "estudis d'intervenció" que confirmen que una reducció de les PM a l'atmosfera com a resultat de l'aplicació de polítiques de reducció comportaria descensos significatius de la prevalença d'aquests símptomes. A Suïssa i en algunes comunitats d'antigues zones de l'antiga Alemanya de l'Est [60, 61] s'han observat reduccions paral·leles de la contaminació atmosfèrica i els símptomes que comporten.

Les definicions dels valors de referència de la salut varien segons els estudis, cosa que s'afegeix a la incertesa tant de l'FCR com de la freqüència inicial assumida en la població per a cada afecció considerada, que és un factor molt significatiu a l'hora de determinar els casos atribuïbles. Això pot tenir una importància especial per als efectes relacionats amb les crisis d'asma i els símptomes de bronquitis en nens, per als quals pot resultar difícil separar ambdós efectes. En general, tant els estudis per als quals es van obtenir les FCR com els estudis per als quals es va obtenir la freqüència, van fer servir qüestionaris semblants d'estandardització internacional. Per exemple, la majoria dels estudis d'investigació de l'asma i dels seus símptomes en nens i adults es basen en els qüestionaris de l'Estudi Internacional de l'Asma i l'Al·lèrgia a la Infància (ISAAC, segons les sigles en anglès). No obstant això, és possible que no totes les definicions coincideixin i que es produeixi una subestimació o sobreestimació dels resultats.

A més de les incerteses relacionades amb la falta de valors de FCR, el càlcul de la BC també es veu àmpliament afectat per la selecció de la incidència en el moment inicial. Per raons de consistència, s'ha utilitzat una incidència basada en l'estudi ASHMOG per al qual es va obtenir l'FCR. Tanmateix, s'ha suggerit que la incidència inicial neta d'aquest estudi de cohorts podria sobreestimar la incidència verdadera a causa de la remissió d'aquestes malalties o per canvis de factors no controlables que influeixen en la resposta durant el seguiment de les cohorts[62]. Es presenten els càlculs d'impacte partint de la taxa de remissió en l'anàlisi de sensibilitat i s'utilitza una incidència inicial del 0,378% per any com s'ha proposat en el CAFE-CBA.

Malgrat que la incidència de BC a Barcelona es pot consultar a l'estudi ECRHS, s'ha preferit utilitzar la incidència de l'ASHMOG per evitar errors en les definicions de la malaltia o problemes de transferència entre poblacions. L'estudi ECRHS està compost per dues parts: l'ECRHS I era una enquesta realitzada a adults joves entre 20 i 44 anys que es van seleccionar aleatòriament entre 140.000 individus; l'enquesta es va utilitzar per calcular la variació de la prevalença de casos d'asma i dels símptomes propis de l'asma. Hi van participar diversos centres d'Europa i altres llocs del món, entre els quals hi ha Barcelona. L'ECRHS II era un estudi de seguiment realitzat nou anys més tard, l'objectiu del qual era avaluar la incidència i el pronòstic d'al·lèrgies, malalties al·lèrgiques (asma, EPOC, febre del fenc i èczemes) i una baixa funció pulmonar en adults. Utilitzant una definició de BC del ECRHS [59], que era tant semblant com va ser possible a la utilitzada en l'estudi de l'Església Adventista del Setè Dia [26], és a dir "tos habitual de nit o de dia durant l'hivern" i "tos com aquesta com a mínim tres mesos l'any", la variació neta va ser de l'1,81% per als que no havien fumats mai o una taxa del 0,18% anual [59], cosa que suggereix una possible sobreestimació dels resultats presentats per a la BC.

Ara com ara, no és possible decidir-se clarament per una o altra definició i enfocament, per la qual cosa les incerteses són considerables. S'ha de dir que aquesta qüestió és molt rellevant en aquesta avaluació, especialment per a la valoració econòmica, perquè la BC constitueix la segona fracció més important per al càlcul de costos (vegeu l'apartat 6). Idealment, totes les definicions de morbiditat (i gravetat) haurien de concordar en els diferents estudis epidemiològics utilitzats per derivar l'FCR, els càlculs de valoració de l'impacte en la salut i la derivació dels costos. Tanmateix, de moment, això no es pot aconseguir sense incerteses. Mentre que l'associació entre contaminació i BC pot ser similar en tots els nivells de gravetat, la restricció de l'avaluació del risc en els casos més greus de BC comportaria una reducció de la càrrega, mentre que la inclusió de fenotips menys greus de BC donaria lloc a una càrrega molt més gran. Com que els costos depenen de la gravetat de les malalties, en la valoració econòmica s'obté una més gran incertesa en els resultats de BC.

Finalment, segons s'ha comentat, cal insistir que les incerteses en les valoracions del risc de les morbiditats cardiorespiratòries són, per defecte, més grans que en la mortalitat i l'ús de l'assistència sanitària, pel fet que no hi ha registres de morbiditat ni opcions diferents per definir les morbiditats. La implementació d'un control sanitari podria realçar de forma substancial la capacitat per calcular el risc per a la salut pública de diversos factors d'exposició.

Taula 5.2. Efectes per a la salut rellevants en l'avaluació de l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut

	Avaluat en aquest estudi
Efectes a curt termini	
Mortalitat diària	√
Ingressos hospitalaris per dificultats respiratòries	√
Ingressos hospitalaris per problemes cardiovasculars	√
Visites al servei d'urgències per problemes respiratoris i cardíacs	--
Visites al servei d'assistència primària per problemes respiratoris i cardíacs	--
Administració de medicació per a malalties respiratòries i cardíacques	--
Dies d'activitats restringides	--
Absentisme laboral	--
Absències a escola o centres d'estudi	--
Automedicació	--
Comportament d'evitació	--
Síntomes aguts	√
Alteracions fisiològiques com, per exemple, en l'activitat pulmonar	--
Conseqüències en malalties cròniques	
Mortalitat deguda a una malaltia cardiorespiratòria crònica	--
Incidència i prevalença de malalties respiratòries cròniques (asma, EPOC)	√ (bronchitis)
Alteració crònica de l'activitat fisiològica (com ara de l'activitat pulmonar)	--
Càncer de pulmó	--
Malaltia cardiovascular crònica	--
Efectes en el sistema reproductiu	
Complicacions en l'embaràs	--
Baix pes del nounat	--
Part prematur	--
Desenvolupament cognitiu del lactant	--

5.4 Exposició de la població

Es van fer servir mapes de concentració de la PM₁₀ per calcular la concentració mitjana ponderada de població en comptes de la concentració mitjana detectada amb un únic monitor fix. El compliment dels valors límit de la UE establerts per les autoritats reguladores s'obté calculant la mitjana de totes les cel·les de la graella que es troben dins de la mateixa gràfica i determinant si la mitjana obtinguda és igual o superior al límit de la UE. Aquesta perspectiva és coherent amb la que es fa servir per calcular les variacions de l'exposició en aquest HIA.

Les superfícies modelades es van validar mitjançant la comparació dels nivells de concentració en monitors fixos i les concentracions previstes. Tret d'algunes zones, les concentracions dels mapes de superfície van coincidir amb els nivells de concentració dels monitors fixos.



A la **Taula 5.3** es presenten les concentracions mitjanes anuals corresponents al 2004, mesurades amb monitor fix, de diferents municipis de l'àrea d'estudi. Les diferències més importants es van detectar prop de zones industrials, per a les quals pot ser que durant l'etapa de modelització dels mapes no s'hagin fet suposicions totalment adequades. Atès que les zones industrials també són menys poblades, l'impacte dels càlculs també es considera menor. Altres HIA europees (per exemple ENHIS) han emprat mesures obtingudes tan sols amb un monitor fix urbà per representar les concentracions de l'exposició a Barcelona. Creiem que les concentracions mitjanes de població desenvolupades per a aquesta HIA representen l'exposició de la població a l'àrea metropolitana de Barcelona de manera més adequada que qualsevol monitor fix, atès que s'ha tingut en compte la distribució de la població a la zona i, per tant, es dóna més pes a àrees on viu molta gent, en comparació amb zones menys poblades.

Taula 5.3. Concentracions mitjanes anuals de PM₁₀ segons els monitors fixos situats en municipis dins l'àrea d'estudi (any 2004)

Municipi	Localització del monitor	Mitjana anual de PM ₁₀ (µg/m ³)
Barcelona	Dàrsena sud	56
	Eixample	55
	Gràcia - St. Gervasi	50
	Plaça Universitat	46
	Port-Edifici Estilbarna	47
	Sants	52
	Zona Universitària	34
Prat de Llobregat		44
Esplugues de Llobregat		43
Hospitalet de Llobregat		34
Molins de Rei-ayuntamiento		44
Sant Adrià de Besos		52
Sant Feliu de Llobregat		45
Sant Viçenç dels Horts		49
Santa Coloma de Gramenet		26
Barberà del Vallès		54
Castellbisbal	Av. Pau Casals	37
	Mirador del Llobregat	36
Granollers	Granollers	53
Martorell	Martorell	39
Montcada	Montcada	45
Montornès del Vallès	Montornès del Vallès	39
	Escola Marinada	
Montornès del Vallès	Montornès del Vallès	26
Pallejà	Pallejà	47
Rubí	Rubí	39
Sabadell	Sabadell	37
		47
Sant Andreu de la Barca	Sant Andreu de la Barca	46
Sant Cugat del Vallès	Sant Cugat del Vallès	39
Santa Perpètua de Mogoda	Santa Perpètua de Mogoda	57
Terrassa	Terrassa	46
Mitjana anual de 2004		44

Font: [8]

Una altra limitació important és la utilització de les PM₁₀ com a indicador de la contaminació i com a substitut d'altres agents contaminants atmosfèrics amb els quals està correlacionat. Hi pot haver altres agents contaminants parcialment incorporats, o no, dins els efectes de les PM₁₀, la qual cosa pot haver donat lloc a un cert grau de subestimació dels efectes. L'ozó (O₃) és un exemple d'un agent contaminant poc correlacionat amb les PM i amb els efectes en la salut ben establerts correctament. Per tant, algunes HIA també inclouen la càrrega i els beneficis de l'ozó.

Finalment, Barcelona presenta una densitat de trànsit extremadament elevada, juntament amb una de les densitats de població més elevades d'Europa, la qual cosa suggereix una exposició al trànsit rodat molt elevada. Per exemple, alguns estudis sobre l'origen de les PM a Barcelona han demostrat que aproximadament un terç de les PM₁₀ generades a Barcelona es deuen a les emissions derivades del trànsit [24, 63]. Aquesta contribució, però, encara podria ser més elevada si es consideren els efectes indirectes del trànsit rodat com la resuspensió. De fet, recentment s'ha calculat que entre un 40% i un 45% de les concentracions de PM₁₀ i PM_{2.5} podrien estar generades pel trànsit [11, 64]. En altres paraules, moltes persones viuen, treballen i passen temps molt a prop del trànsit del carrer, on les concentracions de PM són molt més elevades. Algunes recerques més recents apunten al paper perjudicial dels agents contaminants que apareixen en concentracions molt elevades en els primers 50-100 metres al llarg dels carrers [5, 6]. De moment, no es disposa de la distribució per proximitat del trànsit de Barcelona; per tant, aquestes noves dades no s'han pogut fer servir en aquesta valoració de riscos. De tota manera, es considera que la càrrega per a la salut ocasionada pel trànsit queda clarament subestimada en aquesta valoració. En un futur, s'espera que disposar de mapes de concentracions de PM_{2.5} o, fins i tot, de les fraccions més fines de PM, com les fraccions ultrafines, així com disposar de dades relatives a la distribució de la població respecte a la distància amb els carrers principals i a la densitat del trànsit permetin desenvolupar HIA enfocades més específicament a l'impacte de l'exposició al trànsit rodat.

5.5 Anàlisi de sensibilitat

A la **Taula 5.4** es presenta el percentatge de canvi dels càlculs mitjans dels beneficis per a la salut per a diverses suposicions alternatives relatives a les dades d'entrada. Aquesta anàlisi de sensibilitat avalua l'impacte sobre els càlculs de la variabilitat de l'FCR (IC de 95%), la utilització de les FCR alternatives i l'ús de diferents freqüències dels efectes.

Com s'ha esmentat a la discussió, el marge de càlculs proporcionat es basa únicament en la incertesa entorn de l'FCR. Segons l'efecte en la salut que es consideri, aquests límits superiors i inferiors es reduiran en un $\pm 30\%$ y $\pm 80\%$ dels càlculs centrals. El rang més elevat fa referència a l'FCR per a la BC en adults. En el cas d'altres efectes, incloses les defuncions, el marge d'incertesa és inferior i s'aproxima en $\pm 40\%$ als càlculs mitjans.

S'ha fer servir un grup d'FCR que, de vegades, ha estat diferent dels utilitzats en altres valoracions de risc a Europa. Per exemple, existeixen unes FCR més recents per mortalitat que les utilitzades en aquesta avaluació, com ara les anàlisis de l'estudi ampliat de l'ACS [36]. Aquest estudi proporciona càlculs aproximats per al període 1979-83, el càlcul més baix, per al període 1999-2000, i un càlcul que representa la mitjana de totes dos. L'estimació mitjana, per exemple, ha estat utilitzada pel CAFE-CBA, i s'està convertint a l'estàndard de les HIA. L'anàlisi de sensibilitat mostra que, si es fa servir el càlcul de la FCR més baix, s'obtingria un càlcul mitjà un 50% inferior al càlcul actual; en canvi, si es fa servir el càlcul mitjà de l'estudi ACS, es proporcionen resultats similars als obtinguts amb la FCR utilitzada en aquesta valoració. Ara bé, si s'utilitza una FCR més recent desenvolupada en un altre estudi de l'ACS basat en la població de Los Angeles [55], les estimacions serien aproximadament un 120% més elevats que les que es presenten aquí. No és clar si aquests resultats poden aplicar-se millor o pitjor a la població espanyola que el càlcul general de l'ACS que s'ha utilitzat en aquest estudi. Cal ressaltar, però, que les anàlisis de Los Angeles van emprar una tècnica més sofisticada per determinar el nivell d'exposició individual i aquesta millora en la valoració de l'exposició podria ser un dels motius pels quals es va obtenir una FCR molt més gran. En realitat, l'estudi de Jerret *et al.* constitueix un dels motius que recolzen les conclusions dels experts relatives al fet que pot ser que s'hagin

subestimat els efectes de la contaminació atmosfèrica en la mortalitat en alguns estudis de l'ACS previs [56]. Per tant, cal seguir investigant per obtenir una millor comprensió i més precisió de la magnitud dels efectes crònics deguts a la contaminació atmosfèrica, així com per reduir la incertesa en les valoracions de risc.

Pel que fa als efectes a curt termini en la mortalitat i els ingressos hospitalaris, s'ha utilitzat una FCR que recull diversos càlculs obtinguts d'estudis multicentres. Els resultats basats en els càlculs específics de Barcelona proporcionats en aquests estudis posen de manifest que el càlcul mitjà per al total de morts a curt termini i ingressos hospitalaris podria ser considerablement més elevat (40%-50%), encara que més petit (20%) en el cas dels ingressos hospitalaris per causes cardiovasculars. Això suggereix que la utilització d'un conjunt de càlculs pot resultar més adequada. És necessari seguir investigant per entendre els determinants de les diferències de risc observades entre poblacions.

S'ha utilitzat una FCR per a la BC lleugerament superior a la del CAFE-CBA, encara que l'anàlisi de sensibilitat mostra que l'impacte en el càlcul mitjà és petit. Encara que no es vegi, és de rellevància comentar que aquesta altra FCR presenta un marge d'incertesa encara més gran que la utilitzada en aquest estudi, amb un nivell de confiança inferior negatiu. Tanmateix, la inclusió d'una FCR amb un valor per al límit inferior de zero o fins i tot negatiu implica que és possible atribuir a la contaminació atmosfèrica efectes adversos, efectes protectors o, fins i tot, cap efecte. En aquets cas s'ha preferit restringir l'HIA a aquells efectes en els quals els experts estan d'acord que es deuen a la contaminació atmosfèrica. Els símptomes de la bronquitis crònica s'inclouen en aquest llistat, per la qual cosa el límit inferior del càlcul hauria de ser superior a zero.

Per a altres efectes de morbiditat com la bronquitis aguda en nens i els atacs d'asma en nens i adults, la variació de l'FCR és més petita i inclou l'FCR utilitzada en el CAFE-CBA.

En ocasions, s'han emprat freqüències de població basades en poblacions diferents de les de Barcelona. Independentment de l'escenari avaluat, la variació del càlcul és proporcional a l'error en la freqüència que es podria haver comès. Un error del 20% al voltant de la freqüència calculada afectaria els càlculs en el mateix percentatge. Per tant, les incerteses degudes a aquest factor són de rellevància menor.

Com s'ha presentat anteriorment, el càlcul de la freqüència inicial dels nous casos de BC no es fàcil de determinar per la qual cosa s'han utilitzat diferents suposicions en les diferents valoracions de risc. En aquesta anàlisi de sensibilitat, s'ha utilitzat una incidència inicial per a BC que té en compte la r emissió d'aquesta malaltia tal com suggereix el CAFE-CBA. El resultat d'aquesta anàlisi de sensibilitat mostra que aquest factor podria reduir els càlculs en un 20%.

Finalment, la concentració d'exposició de la població utilitzada podria contenir algun error a causa dels models emprats per desenvolupar els mapes de concentracions i pel fet que no es disposa dels detalls relatius de la distribució de la població. Per exemple, si se suposa que l'error es presenta en els càlculs actuals de les superfícies d'exposició i que no hi ha cap error en la mesura del nivell a assolir, aleshores una sub o una sobreestimació de +/-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la mitjana d'exposició de la població actual representaria un error de càlcul d'un 15% per a l'escenari de l'OMS. Tanmateix, en realitat, aquestes incerteses no tenen tant impacte en els càlculs quan es consideren escenaris d'exposicions futures, perquè s'espera que s'apliquin els mateixos errors i les incerteses que s'aplicarien al càlcul de l'exposició.

Taula 5.4. Sensibilitat del càlcul mitjà del nombre de casos atribuïbles a la contaminació atmosfèrica, a causa d'incerteses en les principals dades d'entrada.

Efecte	Criteris per a l'anàlisi de sensibilitat	Percentatge de variació en el càlcul mitjà
Morts		
Morts acumulades a llarg termini	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-37%
	Valor mitjà de l'FCR de les anàlisis ampliades en l'estudi de l'ACS, càlcul inferior (1979-1983)*	-52%
	Valor mitjà de l'FCR de les anàlisis ampliades en l'estudi de l'ACS, càlcul mitjà*	-7%
	Valor mitjà de l'FCR de l'estudi de l'ACS a Los Angeles†	+118%
Morts immediates curt termini	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-33%
	Mitjana de l'FCR per a Barcelona per a PM ₁₀ RR = 1.00932 (1.00567-1.01299) per 10 µg/m ³ [27], Annex 4	+55%
Morts infantils	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-50%
Ingressos hospitalaris		
Per causes respiratòries	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-45%
	Mitjana de l'FCR per a Barcelona per a PM ₁₀ RR = 1.0193 (1.0101-1.0285) per 10 µg/m ³ [16]	+42%
Per causes cardiovasculars	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-49%
	Mitjana de l'FCR per a Barcelona per a PM ₁₀ RR = 1.005 per 10 µg/m ³ [30]	-18%
Morbiditat		
Bronquitis crònica en adults	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-79%
	Mateixa FCR utilitzada en el CAFE-CBA, RR = 1,07 (0,995-1,143) per 10 µg/m ³	-24%
	Incidència de símptomes de bronquitis basada en CAFE-CBA que té en compte remissió (0,378%)	-24%
Bronquitis aguda en nens	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-37%
	Mateixa FCR utilitzada a CAFE-CBA per a tos crònica, RR=1.027 (1.025-1.596) per 10 µg/m ³ (PM ₁₅) [44]	-8%
	Percentatge amb bronquitis +/-20% de l'estimació de l'HIA	+/-18%
Crisis d'asma en adults	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-48%
	Mateixa FCR utilitzada a CAFE-CBA per a símptomes de l'aparell respiratori inferior, RR=1.041 (0.99-1.09) per 10 µg/m ³ [47]	+5%
	Percentatge d'asmàtics o atacs d'asma en adults +/-20% de l'estimació de l'HIA	+/-20%
Crisis d'asma en nens	Límit superior/inferior del valor de l'FCR (IC del 95%)	+/-36%
	Mateixa FCR que la utilitzada a CAFE-CBA per a símptomes de l'aparell respiratori inferior, RR=1.04 (1,0226-1,0593) per 10 µg/m ³ [65]	-2%
	Percentatge d'asmàtics o atacs d'asma en infants +/-20% de l'estimació de l'HIA	+/-20%

FCR : funció concentració-resposta:

* [36], PM_{2,5} (1979-83) = 1,04 (IC del 95%: 1,01-1,08) per 10 µg/m³, transformat en PM₁₀ = 1,02 (IC de 95%: 1,01-1,05) per 10 µg/m³; PM_{2,5} (mitjana) = 1,06 (IC del 95%: 1,02-1,11) per 10 µg/m³, transformat en PM₁₀ = 1,04 (IC de 95%: 1,01-1,07) per 10 µg/m³

† [55] RR PM_{2,5} = 1,17 (IC del 95%: 1,05-1,30) per 10 µg/m³; transformat en RR PM₁₀ = 1,10 (IC del 95%: 1,03- 1,18) per 10 µg/m³ [66]

5.6 Temps transcorregut entre la millora de la qualitat de l'aire i els beneficis per a la salut

No tots els beneficis relatius a la millora de la qualitat de l'aire es materialitzaran de manera immediata. Generalment, s'espera que el efectes a curt termini de la contaminació es redueixin paral·lelament a la millora de la qualitat de l'aire. Un estudi d'intervenció recent confirma la reducció immediata i substancial de les taxes de mortalitat amb posterioritat a la prohibició d'utilització del carbó a Dublín [67]. La intervenció va tenir lloc el 1991. Els nivells anuals de contaminació atmosfèrica es van reduir immediatament d'un 20-30% i la mortalitat va disminuir tot seguit d'un 15-20%. No obstant això, en el cas de les conseqüències de la contaminació atmosfèrica com a resultat de la combinació d'efectes a curt termini i els crònics, és probable que s'hagi d'esperar uns quants anys per tal d'observar els beneficis totals per a la salut [68]. A més, es poden trobar factors de risc competitius o variacions en els perfils de riscos existents que, més endavant, poden interferir en els beneficis a llarg termini. Així doncs, les incerteses relatives als impactes i beneficis a llarg termini són més grans que les que afecten els efectes a curt termini.

Aquesta dinàmica dels processos de dependència temporal es pot descriure amb un exemple hipotètic basat en els resultats d'aquest estudi a Barcelona. Si els nivells de PM₁₀ a Barcelona es reduïssin sobtadament de 50 µg/m³ a 20 µg/m³ al gener del 2011, es podria esperar que el nombre de morts el 2011 disminuís immediatament en, com a mínim, 520 casos (o en un 2%- vegeu [Taula 4.1](#), "efectes a curt termini"), cosa que correspon a una mitjana de 10 morts menys per setmana.

Mentre que aquest nombre sigui probablement més elevat, seria molt improbable que el nombre de morts caigués el 2011 fins a un total de 3.500 casos (com es mostra a la [Taula 4.1](#), efectes totals), ja que alguns d'aquests es comptabilitzen com una reducció del desenvolupament de patologies cròniques. Un escenari més probable és que el nombre de morts es reduís en el primer any en més de 520 "efectes a curt termini", però menys de 3.500, per un canvi immediat de 30 µg/m³ de la mitjana anual. Es desconeix el patró temporal exacte d'aquests beneficis. Segons un model de càlcul proposat en un estudi recent [68], es pot esperar que aproximadament un 40% del total de morts atribuïbles es materialitzi ja el primer any (per exemple, un 40% de 3.500, o unes 1.400 morts menys).

Cal mencionar que els ingressos hospitalaris, els casos de bronquitis aguda en nens i símptomes relacionats amb l'asma a la [Taula 4.1](#) reflecteixen efectes a curt termini com a conseqüència de les exposicions a curt termini. Per tant, s'espera que els beneficis d'una reducció de la contaminació atmosfèrica es materialitzin immediatament i es mantinguin a un nivell similar mentre la contaminació segueixi en aquests nivells.

És improbable que la contaminació atmosfèrica disminueixi als nivells esperats immediatament després de la posada en marxa de les polítiques ambientals. Més aviat s'espera que s'aconsegueixi una reducció d'una manera gradual: s'espera que les variacions de mortalitat i morbiditat també es produeixin de forma gradual. Observar (o controlar) aquests beneficis graduals és molt més difícil que avaluar els canvis deguts a una reducció immediata i dràstica de la contaminació atmosfèrica. Tanmateix, amb estudis amplis i observacions continuades durant diversos anys, es podria confirmar una millora en la salut produïda per una política de millora gradual de la qualitat de l'aire. Alguns estudis, principalment desenvolupats a Suïssa i a Alemanya de l'Est, juntament amb l'Estudi sobre la Salut dels Nens portat a terme al sud de Califòrnia (Children's Health Study) han demostrat que els problemes de salut es poden reduir paral·lelament als canvis en la qualitat de l'aire amb polítiques ambientals o canviant de residència.

5.7. Comparació amb altres factors de risc

Val la pena tenir en compte l'impacte de la contaminació atmosfèrica, així com els beneficis per a la salut que comporta la gestió de la qualitat de l'aire en context amb altres problemes de la salut. Mentre se suposa que el risc relatiu de la contaminació en la salut d'una persona "normal" és petit i, en tot cas, substancialment més petit que el relacionat amb els efectes dels hàbits adversos del tabac, és important entendre que l'impacte global de la contaminació atmosfèrica en la salut pública és, de fet, més gran a causa d'una exposició més estesa a la contaminació. Per tant, en comparació amb l'hàbit del tabac, cal subratllar que un 100% de la població està exposada a la contaminació atmosfèrica. Avui dia, solament un 25% de la població a Catalunya són fumadors actius, però ningú no pot evitar, en canvi, l'exposició a determinats nivells la contaminació atmosfèrica.

No obstant això, s'espera que la càrrega total del tabac per a la salut, amb només un 25% de fumadors actius, sigui molt més important que la càrrega per a la salut deguda a la contaminació atmosfèrica. Això es deu als riscos extremadament elevats relacionats amb el fet de fumar activament. Per exemple, un dels estudis utilitzats per calcular els efectes a llarg termini de la contaminació atmosfèrica [33] també va proporcionar un càlcul del total de morts de fumadors. Mentre que en aquest estudi un increment de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} s'associa amb un 4% d'increment de les morts, els fumadors tenen un 100% més de risc de morir que els no-fumadors durant el seguiment de l'estudi. Els accidents de trànsit també són la causa d'un gran nombre de morts. Tot i que el percentatge està disminuint, encara hi ha unes 500 morts cada any provocades pels accidents de trànsit a Catalunya. Com s'ha mostrat en aquest informe, el nombre de morts atribuïbles a la contaminació atmosfèrica per sobre dels estàndards de la UE és de dos a tres vegades més elevat que les degudes a accidents de trànsit. Aquest fet també el destaquen altres estudis previs [15, 69]. Un informe elaborat per l'OMS [69] també comparava els anys de vida perduts a causa de la contaminació atmosfèrica amb els perduts a causa dels accidents de trànsit. Malgrat que les víctimes dels accidents solen ser molt més joves que les morts atribuïbles a la contaminació atmosfèrica, els efectes de la contaminació en l'esperança de vida són substancialment més grans que els efectes dels accidents. Tanmateix, els accidents de trànsit també representen una causa important de morbiditat de per vida, i això també afecta l'esperança de vida. Aquestes comparacions encara no s'han inclòs en aquest informe [69]. Comparar l'impacte de la contaminació atmosfèrica amb l'impacte dels accidents de trànsit pot ser d'interès per tal d'avaluar algunes polítiques ambientals. Donat la contribució elevada del trànsit com a font de contaminació atmosfèrica, es considera que algunes mesures destinades a millorar la qualitat de l'aire, com ara reduir la velocitat permesa o tancar al trànsit algunes vies en zones densament poblades, poden contribuir a millorar la qualitat de l'aire, així com a reduir els accidents de trànsit. Per consegüent, l'avaluació de la qualitat de l'aire s'ha d'establir em un context més ampli per tal d'identificar els possibles beneficis complementaris. Com esmenta l'OMS [70], les polítiques ideades per obtenir beneficis en la salut i que afecten el trànsit coincideixen amb les polítiques de la contaminació atmosfèrica, el canvi climàtic, els accidents, l'activitat física i el soroll.

S'ha determinat que en un any es podrien aconseguir un increment de l'esperança de vida si es redueix la contaminació atmosfèrica fins als nivells que protegeixen la salut pública. Segons l'Institut d'Estadística de Catalunya [53], l'esperança de vida a Catalunya l'any 2004 va ser de 80,75 anys, mentre que el 1997 era gairebé un any menys i tres menys el 1992. La reducció de la contaminació atmosfèrica podria accelerar la velocitat d'increment de l'esperança de vida que la societat ja està experimentant gràcies a les contínues millores del context social.

6. Valoració econòmica dels beneficis per a la salut

6.1. Introducció

L'ús de valoracions econòmiques de les estratègies per reduir la contaminació atmosfèrica ha estat objecte de grans debats durant els darrers anys, ateses les consideracions ètiques relacionades amb el fet d'expressar els beneficis per a la salut en costos que serien intangibles per a la població. Això no obstant, cada societat disposa de recursos limitats per adjudicar a projectes i, sovint, els encarregats d'elaborar les polítiques i de prendre decisions requereixen unes anàlisis cost-benefici basades en les valoracions econòmiques dels beneficis per a la salut per tal de prendre decisions sobre l'adequació o sobre com prioritzar els plans i el desenvolupament de polítiques públiques.

En aquest apartat es presenta una valoració econòmica dels beneficis per a la salut que es podrien obtenir si es reduís la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Es presenten resultats basats en dos tipus d'avaluacions. Els resultats principals es basen en la monetització dels casos atribuïbles obtinguts en les seccions anteriors. Aquesta valoració s'anomena "enfocament VSL", en referència al mètode utilitzat per valorar les morts atribuïbles (*Value of Statistical Life* segons les sigles en anglès). Es tracta d'un enfocament que sol aparèixer en HIA portades a terme als EUA [71]. Tanmateix, a causa dels dubtes recents sobre la validesa del concepte de "morts atribuïbles", s'ha presentat a l'apartat de discussió la justificació per a un enfocament diferent (enfocament VOLY) i una comparació dels resultats monetaris.

6.2 Valors monetaris-enfocament VSL

El fet que no hi hagi un preu de mercat per als beneficis derivats d'una atmosfera més neta ha forçat els economistes, en diferents àmbits, a mirar de desenvolupar uns valors monetaris alternatius. Les mesures de valors ideals haurien de representar totes les pèrdues que pateixen els individus i la societat pels efectes adversos en la salut; a més, haurien de reflectir també les preferències i uns processos de presa de decisions semblants als de la vida quotidiana.

Hi ha dos valors ben acceptats per representar canvis en el bon estat de vida deguts a la reducció dels efectes adversos de la contaminació en la salut: les mesures del cost de la malaltia (COI, segons les sigles en anglès) i la disposició a pagar o a acceptar (WTP i WTA, respectivament, segons les sigles en anglès). El COI requereix calcular les despeses directes actuals dels costos mèdics, així com els costos indirectes (com ara la pèrdua de sou) que comporta una malaltia. El WTP i el WTA s'obtenen a partir de la preferència d'un mercat determinat per reduir indirectament el risc per a la salut o el risc de mort. Els valors derivats d'aquests mètodes es basen en relacionar diferències salarials o costos de consum amb diferents nivells de risc. Quan no es pot inferir aquest valor, s'utilitzen altres mètodes per calcular el valor, com les enquestes. Aquest mètode s'acostuma a anomenar "valoració contingent" (en anglès, "contingent valuation"), perquè consisteix a demanar a les persones que determinin el preu d'una cosa si la poguessin comprar o vendre.

Com s'ha comentat anteriorment, la mort prematura deguda a una exposició de llarg termini a la contaminació atmosfèrica (morts atribuïbles) és l'efecte més greu. La determinació d'un valor apropiat que correspon a una reducció del risc de mort és, per tant, la peça amb més influència en aquest tipus d'avaluació monetària. Per consistència amb la valoració desenvolupada en el CAFE-CBA -una anàlisi cost-benefici molt àmplia de la contaminació atmosfèrica a Europa- s'ha



utilitzat el valor desenvolupat per ExternE, un projecte de recerca de la Comissió Europea sobre els costos externs de l'energia en el projecte NewExt (en anglès, *New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies*). Aquest grup va desenvolupar un valor per a la mort atribuïble seguint l'enfocament WTP. El WTP es va basar en la determinació, per part de les persones enquestades, del que estarien disposades a pagar per reduir el seu risc de mort, expressat com "el valor estadístic de vida" (VSL, segons les sigles en anglès). Per tant, el VSL es va derivar de la petita diferència del que "una persona normal entrevistada" està disposada a pagar per reduir el risc a un nivell definit, agregada per a tota la població i expressada com el valor per prevenir una mort única. En altres paraules, als participants en l'estudi no se'ls ha preguntat sobre el valor de la vida, sinó sobre la reducció del risc de mort.

Per a altres indicadors de salut, hi ha diferents valors ben acceptats que han estat desenvolupats en l'última dècada i que s'han utilitzat regularment en anàlisis d'aquest tipus. Per consistència amb altres avaluacions europees, es van fer servir els valors monetaris que es proposen en l'anàlisi cost-benefici del CAFE (CAFE-CBA), calculats per l'ExternE, i basats principalment en un estudi empíric que recull cinc estudis de tot Europa [20]. De la mateixa manera que en el cas de la mortalitat, el valor monetari per a la morbiditat intenta reunir la suma dels tres components independents següents:

- **Cost del recurs:** els costos mèdics pagats pel servei sanitari.
- **Costos d'oportunitat:** els costos en termes de pèrdues de productivitat i el cost d'oportunitat d'oci, incloent-hi el treball no remunerat.
- **Costos de no-utilitat:** altres costos socials i econòmics. Això queda reflectit en una avaluació de la voluntat de pagar (WTP) per evitar o compensar les pèrdues de benestar que comporten les malalties.

A la **Taula 6.1** es presenta un resum dels valors monetaris proposats en el CAFE-CBA per als efectes considerats en aquesta avaluació i transformats al preu de mercat de 2006. Els beneficis monetaris agregats es van obtenir multiplicant el valor monetari pels de salut per a cada efecte. El marge de valors per a la mort prematura i la BC corresponen a la mitjana (valor baix) i la mitjana (valor alt). Per simplificació, s'han calculat els costos utilitzant el valor mitjà amb el preu de mercat del 2006. El nombre total de símptomes correspon a la suma de tots els atacs d'asma atribuïbles en nens i adults. Només s'ha considerat la BC en adults.

Taula 6.1. Valors per monetitzar els efectes d'una reducció de la contaminació atmosfèrica

Efecte en la salut	Value in Euros (as published in CAFE, 2005)	Valor en euros (2006 preu/any)*
Morts atribuïbles	980.000 € - 2.000.000 € / mort	1.020.000 € - 2.080.000 € / mort
Ingressos en hospital per causes cardíaques o respiratòries	2.000 € /ingrés	2.100 € /ingrés
Bronquitis crònica	120.000 € - 250.000 €/cas	125.000 € - 260.000 €/cas
Dies de símptomes	38 €/dia	39 €/dia

*Increment anual mitjà del producte interior brut a Espanya el 2006: 3,9% (Font: Eurostat); €: Euros

6.3 Resultats basats en l'enfocament VSL

A la **Taula 6.2** es presenten els resultats dels beneficis monetitzats obtinguts per als efectes en la salut, així com dels beneficis agregats. Es presenten els càlculs amb un interval de confiança del 95%, obtingut utilitzant els valors monetaris mitjans aplicats a l'interval de confiança dels beneficis per a la salut obtingut en els apartats anteriors.

Per a l'escenari que considera una reducció mitjana anual dels nivells de PM₁₀ fins a 20 µg/m³, els resultats mostren que els costos totals agregats estimats estarien situats entre uns 3.500 i uns 9.000 milions d'euros (6.400 milions d'euros de mitjana) amb uns beneficis per càpita d'uns 1.600 euros (IC del 95%: 870-2.300) per any.

Separats en funció de l'efecte en la salut, els resultats confirmen que més del 80% dels costos s'atribueixen al nombre de morts prematures estimades que es podrien prevenir anualment mitjançant una reducció d'aquesta contaminació. El segon indicador que contribueix al cost és la BC (solament s'ha considerat en adults), que representa aproximadament un 15% de les estimacions totals.

Si es considera una reducció mitjana anual dels nivells de PM₁₀ fins a 40 µg/m³, com a l'escenari previst en la situació intermèdia, els beneficis serien d'aproximadament un terç dels presentats anteriorment, amb beneficis mitjans per càpita del voltant dels 600 euros.

Taula 6.2. Beneficis anuals monetitzats dels beneficis per a la salut de la reducció de la contaminació a l'àrea metropolitana de Barcelona (enfocament VSL)

Beneficis per a la salut	Reducció mitjana anual de PM ₁₀ fins a 20 µg/m ³			Reducció mitjana anual de PM ₁₀ fins a 40 µg/m ³		
	Beneficis per a la salut (IC del 95%)	Beneficis monetitzats per any		Beneficis per a la salut (IC del 95%)	Beneficis monetitzats per any	
Mortalitat						
Morts atribuïbles	3.500 (2.200-4.800)	5.400 (3.400-7.400)	Mil. Euros	1.200 (760-1.700)	1.900 (1.200-2.700)	Mil. Euros
Morbiditat						
Ingressos hospitalaris	1.800 (950-2.600)	3.7 (2,0-5,4)	Mil. Euros	600 (320-890)	1.3 (0,7-1,8)	Mil. Euros
Bronquitis crònica en adults	5.100 (550-8.500)	970 (100-1600)	Mil. Euros	1.900 (190-3.400)	360 (40-700)	Mil. Euros
Total símptomes	54.000 (27.400-75.700)	2.1 (1,1-3,0)	Mil. Euros	18.700 (9.300-26.800)	0.7 (0,4-1,1)	Mil. Euros
Beneficis monetitzats	Total (enfocament VSL)	6.400 (3.500-9.000)	Mil. Euros	Total (enfocament VSL)	2.300 (1.200-3.300)	Mil. Euros
	Beneficis anuals per càpita	1.600 (870-2.300)	Euros	Beneficis anuals per càpita	570 (300-830)	Euros

Notes:

Mil. Millions

1. Calculada per a la població de l'àrea d'estudi de 4 milions d'habitants

6.4 Discussió de la valoració econòmica

Basat en l'enfocament VSL, aquesta avaluació suggereix uns beneficis substancials en termes de costos que resultarien d'una reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona.

La comparació d'altres recent valors de VSL amb els proposats pel CAFE-CBA i utilitzats en aquesta HIA concorda, encara que de forma lleugerament inferior, amb el VSL proposat per altres agències als EUA. Per exemple, una valoració econòmica recent a Califòrnia [72] va utilitzar un valor de VSL de 6,7 milions de dòlars (~4,9 milions d'euros, preu de mercat del 2006) basat en una anàlisi

recent de l'EPA. L'avaluació de Califòrnia també proposa un valor de 374.000 \$ (~270.000 euros, preu de mercat del 2005) per cas de BC, similar al marge utilitzat en aquesta avaluació. Per a altres efectes en la salut, els valors monetaris de l'informe de Califòrnia també són similars als que es presenten pel CAFE-CBA. Com ja s'ha recalcat en apartats anteriors, l'avaluació de l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la morbiditat i la mortalitat està plena d'incerteses inherents, que són particularment grans pel que fa a la BC. Cabe destacar que todas estas incertidumbres se han propagado en la valoración monetaria, la cual en sí misma también tiene un margen de valores posibles.

Els resultats d'aquesta valoració monetària han confirmat que els costos totals estan influïts per les morts atribuïbles anuals. Com s'ha introduït en la secció 3.4.2.1, el concepte de "mort atribuïble" planteja moltes qüestions. En el CAFE-CBA es presenta una discussió aprofundida d'aquestes qüestions, així com un mètode alternatiu que es detalla en una publicació metodològica [42] i en un informe addicional [69]. En els següents apartats es presenta un resum de les qüestions tractades en aquests informes. També es presenten els resultats d'un mètode alternatiu per obtenir beneficis monetaris basat en aquesta informació recent.

6.4.1 Utilització de taules de vida en les avaluacions de l'impacte en la salut

A la secció 4.1.2, s'han presentat els resultats de l'increment mitjà de l'esperança de vida que la població de l'àrea metropolitana de Barcelona (2004) podria experimentar si la contaminació atmosfèrica es reduís. L'obtenció d'aquests resultats es basa en taules de vida. En resum, els mètodes de taules de vida prediuen el patró de supervivència, anys de vida (LY, per les sigles en anglès) i morts d'una cohort. En aquesta HIA, per exemple, s'han considerat les dades de població del 2004 i les taxes de mortalitat del 2004 per tal d'obtenir una corba de supervivència que s'ha aplicat a aquesta mateixa població per calcular els canvis de l'estructura quan la cohort envelleix. A partir de esta corba de supervivència, es pot extrapolar el nombre de morts que s'esperen en cada edat, l'esperança de vida d'aquesta cohort o el nombre total d'anys de vida de la població estudiada.

Per obtenir guanys o pèrdues d'anys de vida deguts a canvis en els nivells de contaminació atmosfèrica, es desenvolupen i es comparen dues corbes de supervivència. La primera s'obté utilitzant les taxes de mortalitat actuals (escenari de referència) i l'altra utilitzant les taxes de mortalitat esperades després d'una reducció de la contaminació atmosfèrica (escenari alterat). En aquesta avaluació, l'escenari alterat s'obté utilitzant l'FCR per efectes crònics en la mortalitat descrita a l'apartat 3.4.2.1 per a la població amb edats per sobre dels 30 anys i segons l'escenari en consideració. Els resultats de l'HIA que utilitzen taules de vida s'expressen, per tant, com un canvi (un guany en aquesta avaluació) dels anys de vida que deriva d'una diferència entre un escenari de base i un escenari alterat.

6.4.2 Anys de vida o morts atribuïbles?

Com s'ha fet en aquesta avaluació, moltes HIA expressen els resultats anuals. En les seccions anteriors, s'han calculat els beneficis per a un canvi en un any, passant de l'escenari de referència a l'alterat, i s'han considerat aquests beneficis com atribuïbles a aquesta reducció. En el primer any d'un escenari de reducció, l'ús de taules de vida o l'obtenció de morts atribuïbles com la que s'ha fet en aquest projecte donen resultats similars. Però, darrere d'un escenari real de política de reducció, s'assumeix generalment que la reducció de la contaminació atmosfèrica és sostinguda. Per tant, en comparació amb un escenari de referència, s'espera que els beneficis es repeteixin cada any. Tot i això, per expressar aquests beneficis a llarg termini, per exemple durant la vida d'una cohort, els dos enfocaments donarien resultats cada vegada més discrepants i el



concepte de morts atribuïbles es tornaria erroni a mesura que passin els anys. En efecte, si se segueix una cohort fins a la seva extinció, tothom acaba per morir, independentment de si l'aire està contaminat o no, i per tant no s'evitarà cap mort. Això s'il·lustra a la Figura 6.1 (a dalt) per a la població del 2004 de l'àrea metropolitana de Barcelona, on s'assumeix una reducció de la taxa de mortalitat considerant que s'assoleixen els estàndards de l'OMS. Aquesta figura mostra com, si bé el guany de morts augmenta al principi a causa d'aquesta reducció, el guany arriba a un límit i es torna negatiu a partir d'unes edats elevades. Això es deu al fet que el nombre total de morts en l'escenari de referència i en l'escenari alterat ha de ser igual al de la població inicial, i les diferències en el nombre de morts a una edat es cancel·len a altres edats amb l'efecte net d'un nombre total de morts de zero [69]. En altres paraules, la supressió o la reducció d'un factor de risc, com ara la contaminació atmosfèrica, posposa la mort però no evita la mort d'una cohort.

Basant-se en aquestes consideracions, el CAFE-CBA i altres han proposat que l'impacte de factors de risc, com la contaminació atmosfèrica, per a la mortalitat, s'ha d'expressar en anys de vida perduts (o en guanys per reducció de la contaminació atmosfèrica) i no en morts atribuïbles, perquè els anys de vida s'acumulen independentment de les morts. Com es mostra a la Figura 6.1 (a baix), quan es considera l'esperança de vida i el canvi del nombre total d'anys de vida segons un escenari de base i un escenari alterat, es veu que tots els anys de vida guanyats són positius. Mentre que tots els enfocaments que extrapolen una situació actual a una situació futura depenen d'un nombre d'assumpcions discutibles, el concepte d'anys de vida reflecteix d'una manera més apropiada les dinàmiques de vida i mort en el temps i s'ha aplicat aquest concepte a aquesta avaluació. Per il·lustrar-ho, apliquem aquests conceptes a la nostra HIA sobre la contaminació atmosfèrica a Barcelona.

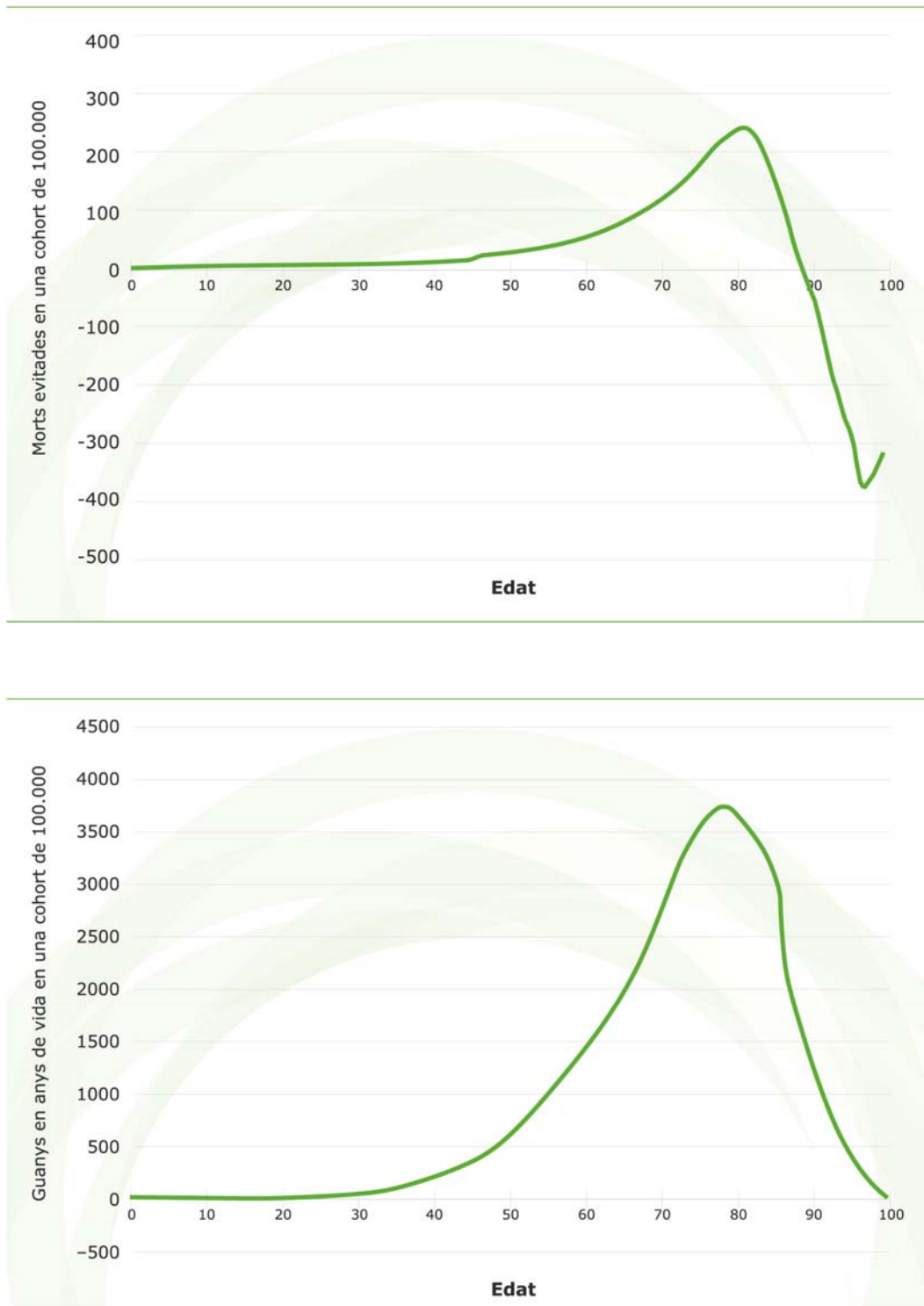


Figura 6.1. Morts evitades (a dalt) i anys de vida guanyats (a baix) per una reducció de la taxa de mortalitat que correspon a l'assoliment dels nivells estàndard de l'OMS

6.4.3 Guanyats en anys de vida

S'han derivat els guanyats en anys de vida seguint la metodologia que s'ha presentat anteriorment com a alternativa a les morts atribuïbles anuals. Breuement, per a cada corba de supervivència obtinguda (escenari de base i



escenari alterat), s'ha multiplicat la probabilitat acumulada de sobreviure pel nombre d'individus a cada grup d'edat per tal d'obtenir el nombre d'anys de vida total per a cada grup d'edat. Per obtenir guanys totals, s'han sumat les diferències entre les dues corbes. Els resultats en anys de vida guanyats per a ambdós escenaris considerats es presenten a la **Taula 6.3**.

Taula 6.3. Beneficis per a la salut expressats en forma d'anys de vida guanyats a causa d'una reducció de la mitjana anual de PM₁₀ a l'àrea metropolitana de Barcelona

Efecte	Unitat	Edat	Beneficis per a la salut (IC del 95%)	
			Reducció mitjana anual de PM ₁₀ fins a 20 µg/m ³ .	Reducció mitjana anual de PM ₁₀ fins a 40 µg/m ³ .
Guanys en anys de vida (LY)	anys	≥ 30	22.100 (13.700-30.700)	8.200 (4.900-11.500)

Com que estàvem interessats en beneficis anuals, s'han derivat els anys de vida guanyats per any seguint un canvi en la taxa de mortalitat degut a una reducció de la contaminació atmosfèrica (primer any de reducció). No obstant això, cal subratllar que encara que les taxes de mortalitat retornin als nivells de base els anys següents, els guanys continuarien augmentant en un futur proper. Per tant, el total d'anys de vida guanyats sobre la vida de la cohort és més gran que el que es presenta a la **Taula 6.3**.

Si la contaminació atmosfèrica se sostingués durant tota la vida de la cohort, els guanys augmentarien fins a la seva extinció. A la **Figura 6.2** s'exemplifica aquest punt. El total d'anys de vida guanyats per la cohort per una reducció puntual o sostinguda de la contaminació atmosfèrica durant la seva vida seria la incorporació de la superfície sota de cada corba. Dividint l'acumulació d'anys de vida guanyats per la població total de la cohort s'obté l'increment mitjà de l'esperança de vida per a la cohort produït per aquesta reducció de la contaminació atmosfèrica.

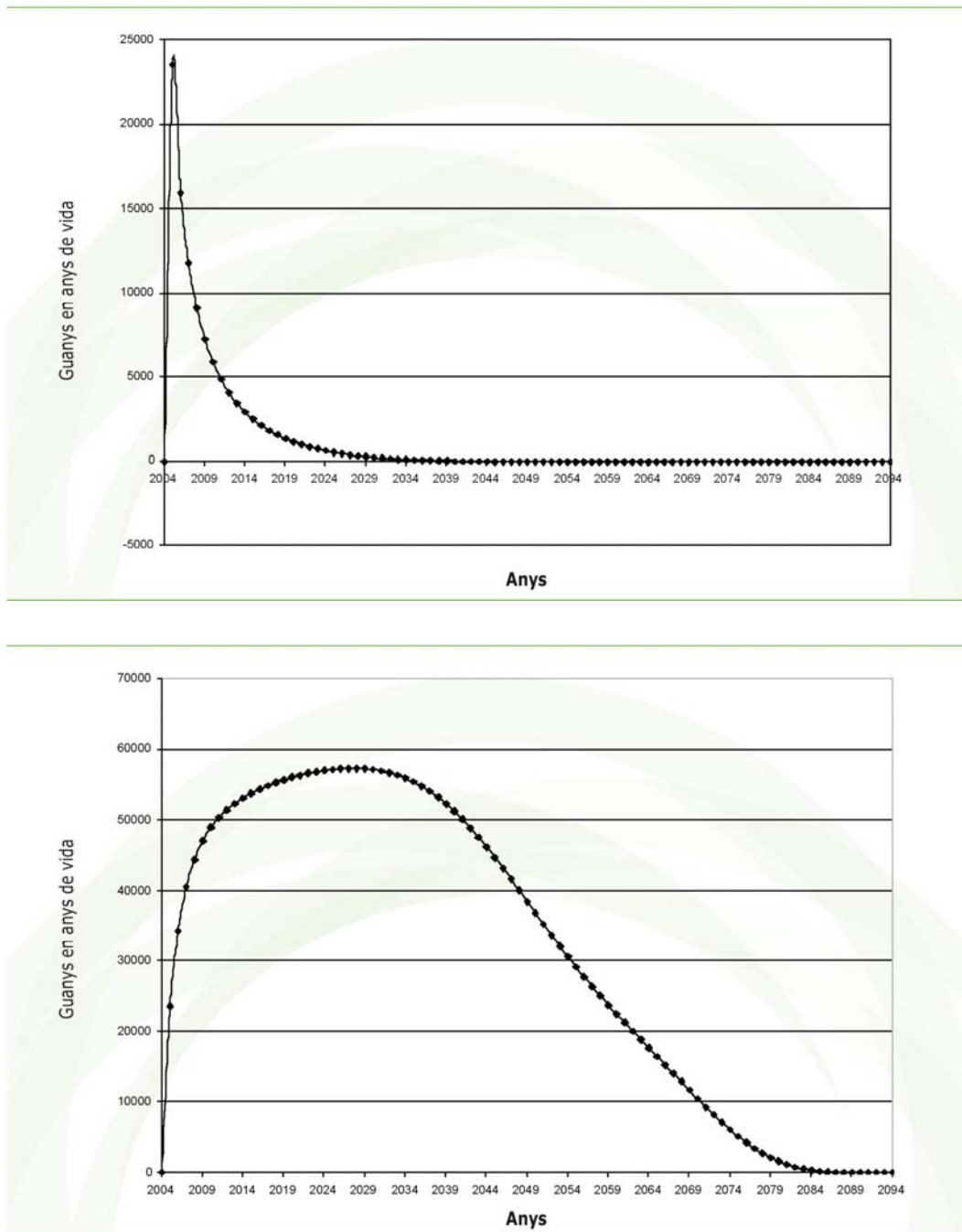


Figura 6.2. Guany en anys de vida per una reducció puntual (a dalt) i una reducció sostinguda (a sota) de la contaminació atmosfèrica. Les dues gràfiques il·lustren una reducció en la taxa de mortalitat corresponent a l'assoliment dels nivells estàndards de l'OMS aplicats a la població de l'àrea d'estudi el 2004 seguida fins a la seva extinció.

6.4.4 Valor monetari d'un any de vida

Les valoracions monetàries basades en anys de vida utilitzen "el valor d'un any de vida" (VOLY, segons les sigles en anglès) com a unitat monetària. A la **Taula 6.4** es mostra el marge de valors adoptat per l'enfocament VOLY en el CAFE-CBA. Aquests valors van ser proposats per ExternE [20] i desenvolupats basant-se en informació empírica recent derivada d'unes avaluacions contingents en diferents àrees de tot Europa. De la mateixa manera que per a l'enfocament VSL, s'han calculat uns costos emprant el valor mitjà del preu de mercat del 2006 del marge mostrat a la taula que correspon a la mediana (valor baix) i a la mitjana (valor alt).

Taula 6.4. Valors per monetitzar els beneficis de reduir la contaminació atmosfèrica en termes de guanys en anys de vida

Valor monetari	Marge en euros (segons s'ha publicat)	Marge en euros (2006 preu /any) *
VOLY	52.000 € - 120.000 €	54.000 €- 125.000 €

*Increment anual mitjà del producte interior brut a Espanya el 2006: 3,9% (Font: Eurostat)

6.4.5 Valoració monetària utilitzant anys de vida

La **Taula 6.5** mostra els resultats per als beneficis monetitzats obtinguts dels guanys en anys de vida. Com s'ha fet per a l'enfocament VSL, es presenten les estimacions amb un interval de confiança del 95% obtingut utilitzant els valors monetaris mitjans aplicats a l'interval de confiança dels guanys en anys de vida.

Per a l'escenari que preveu una reducció mitjana anual dels nivells de PM₁₀ fins a 20 µg/m³, els resultats mostren que els costos totals agregats estimats estarien entre 1.200 i 2.700 milions d'euros (2.000 milions d'euros de mitjana). Els resultats per a la mortalitat, utilitzant morts atribuïbles són, de mitjana, unes 2,6 vegades més elevats que els basats en aquest enfocament VOLY.

Sumant a les estimacions VOLY les estimacions per costos de morbiditat, els beneficis totals que s'aconsegueixen són de 3.000 milions d'euros (IC del 95%: 1.300-4.400), cosa que representa prop dels 740 euros per càpita (IC del 95%: 330-1.100). En aquest cas, els resultats totals de casos atribuïbles van ser, de mitjana, dues vegades més elevats que els basats en aquest enfocament VOLY. Això no obstant, per causa del pes reduït de la mortalitat segons aquest enfocament, la BC contribueix en un 30% en l'estimació total, en lloc d'una contribució d'un 15%, segons l'enfocament VSL.

Com abans, si es considera una reducció mitjana anual dels nivells de PM₁₀ fins a 40 µg/m³, els beneficis serien d'aproximadament un terç dels presentats anteriorment.

Taula 6.5. Beneficis anuals monetitzats per als beneficis per a la salut de la reducció de la contaminació a l'àrea metropolitana de Barcelona (enfocament VOLY)

Beneficis per a la salut	Reducció mitjana anual de PM ₁₀ fins a 20 µg/m ³			Reducció mitjana anual de PM ₁₀ fins a 40 µg/m ³		
	Beneficis per a la salut (IC del 95%)	Beneficis monetitzats per any		Beneficis per a la salut (IC del 95%)	Beneficis monetitzats per any	
Mortalitat						
Guanys en anys de vida	22.100 (13.700-30.700)	2.000 (1.200-2.700)	Mil. Euros	8.200 (4.900-11.500)	730 (440-1.000)	Mil. Euros
Morbiditat						
Ingressos hospitalaris	1.800 (950-2.600)	3,7 (2,0-5,4)	Mil. Euros	600 (320-890)	1,3 (0,7-1,8)	Mil. Euros
Bronquitis crònica en adults	5.100 (550-8.500)	970 (100-1600)	Mil. Euros	1.900 (190-3.400)	360 (40-700)	Mil. Euros
Total símptomes	54.000 (27.400-75.700)	2,1 (1,1-3,0)	Mil. Euros	18.700 (9.300-26.800)	0,7 (0,4-1,1)	Mil. Euros
Beneficis monetaris totals	Total (enfocament VOLY)	3.000 (1.300-4.400)	Mil. Euros	Total (enfocament VSL)	1.100 (480-1.700)	Mil. Euros
	Beneficis anuals per càpita	740 (330-1.100)	Euros	Beneficis anuals per càpita ¹	270 (120-420)	Euros

Notes:

Mil. Milions

1. Calculada per a la població de l'àrea d'estudi de 4 milions d'habitants

6.4.6 Altres consideracions

Com s'ha comentat anteriorment, pel que fa al concepte de mortalitat, les avaluacions monetàries basades en els anys de vida guanyats en comptes de les basades en les "morts atribuïbles" podrien ser conceptualment més adequades, particularment a llarg termini. Això no obstant, cal recordar que una reducció de la contaminació atmosfèrica disminuiria el risc de mort i, per tant, inicialment podria disminuir el nombre absolut de morts en una població. Això s'ha observat, de fet, a Dublín després de la prohibició d'utilitzar carbó i a la vall d'Utah (EUA), on es va tancar un molí metàl·lic durant un any. El molí era la font més important de contaminació atmosfèrica de la zona, per tant la pol·lució va disminuir durant l'any després del tancament i va tornar a augmentar després. La mortalitat i la morbiditat van seguir el mateix patró.

En aquesta secció s'ha exemplificat un cas senzill; s'han calculat els guanys en anys de vida i costos, basant-nos en una cohort única per a un impacte que comporta una reducció de la contaminació durant un any en les taxes de mortalitat.

L'obtenció dels beneficis per a períodes de temps més llargs hauria de tenir en compte suposicions més complexes. Per exemple, si la contaminació atmosfèrica es redueix de forma sostinguda, les cohorts futures que naixerien també es beneficiarien d'aquesta millora. Per tant, l'escenari d'una extinció de la cohort no és realista. A més, tots els conceptes assumeixen que, a banda de la contaminació atmosfèrica, tots els altres factors determinants de risc de les cohorts, incloent-hi les susceptibilitats, seguirien essent similars als de les cohorts actuals.

Una altra qüestió important quan es treballa amb anys de vida és la ponderació. Per exemple, s'ha suggerit que el valor d'un any de vida no hauria de tenir el mateix pes si es tracta d'una persona jove o d'una persona d'edat més avançada. Hi ha molta controvèrsia al voltant d'aquest tema, perquè els resultats d'algunes enquestes semblen demostrar que els individus d'edat avançada valoren la vida tant com la gent jove [20, 62]. Ajustar els anys de vida per tal de tenir en compte la percepció de la qualitat de vida, que podria canviar en el procés d'envelliment



(anys de vida ajustats per qualitat o QALY, per les sigles en anglès), podria també ser rellevant en aquest tipus d'avaluació i tenir un impacte considerable en el nombre d'anys de vida guanyats quan es projecten en el futur. A [69] apareix una descripció més detallada d'aquestes i altres qüestions relacionades amb la ponderació dels anys de vida.

Finalment, una qüestió important en les taules de vida que encara no s'ha considerat, tot i que podria ser important a l'hora de calcular els beneficis en termes de morbiditat i la mortalitat després d'una reducció de la contaminació atmosfèrica, és el rol de l'increment de la morbiditat com a resultat del retard de la mort. Cal ressaltar, no obstant això, que el retard de la mort degut a una reducció de la contaminació atmosfèrica és conseqüència d'una reducció en el nombre de patologies agudes i cròniques, per la qual cosa l'increment de l'esperança de vida no implica necessàriament més anys viscuts amb malalties a edats més avançades. Com s'ha suggerit en aquesta avaluació monetària, després de la mort, la BC és una font important de cost social. Entendre la relació entre els canvis en la incidència de la BC i els canvis en el risc de mortalitat seria rellevant en futures HIA econòmiques. Cal, per tant, desenvolupar les metodologies en aquesta àrea.

Tot i que queden moltes qüestions obertes sobre la interpretació dels beneficis a llarg termini per a la salut pública d'una reducció de la contaminació atmosfèrica i sobre la integració de poblacions futures en les estimacions econòmiques actuals, cal ressaltar que s'espera que la reducció de la contaminació atmosfèrica resulti en un increment de l'esperança de vida gràcies a una reducció de la morbiditat i de la mortalitat. Per tant, també és necessari continuar la discussió d'aquests beneficis en l'increment normal de l'esperança de vida observat en moltes societats arreu del món.

7. Conclusions generals

La qualitat de l'aire a l'àrea metropolitana de Barcelona, concretament pel que fa als nivells de PM i d'NO₂, és bastant dolenta i la tendència dels darrers anys tampoc no mostra millores, sinó un empitjorament de la situació. Basant-se en la investigació que s'ha dut a terme a Espanya i en altres àrees, i en línia amb altres valoracions de diversos panells d'experts internacionals, inclosa l'OMS, es pot concloure que els nivells actuals de contaminació atmosfèrica a Barcelona i rodalies són perillosos per a la salut. Aquest estudi ha demostrat que la salut pública es podria beneficiar en termes de morbiditat, mortalitat i esperança de vida si els nivells es reduïssin fins als recomanats i establerts per l'OMS amb la finalitat de protegir la salut pública; aquests nivells ja s'han implantat en molts països d'Europa. Malgrat una probable subestimació dels beneficis totals, aquest estudi ha posat de manifest que, gràcies a aquesta reducció, cada any es podrien arribar a evitar:

- **3.500 morts prematures (aproximadament 12% de totes les morts naturals entre les persones més grans de 30 anys), la qual cosa representaria un increment de l'esperança de vida de gairebé 14 mesos;**
- **1.800 ingressos hospitalaris per causes cardiorespiratòries;**
- **5.100 casos de símptomes de bronquitis crònica en adults;**
- **31.100 casos de bronquitis agudes en nens, i 54.000 crisis d'asma en nens i adults.**

L'àrea metropolitana de Barcelona és una de les poques àrees urbanes d'Europa on els encara se superen els valors límits establerts per la UE, menys estrictes que les recomanacions de l'OMS. Aquesta avaluació subratlla que ja es podria aconseguir **un terç** dels beneficis esmentats amb anterioritat si la contaminació atmosfèrica es reduís fins als nivells de la UE.

Encara que continua havent-hi controvèrsies sobre els enfocaments apropiats per obtenir valoracions econòmiques, es calcula que els beneficis econòmics obtinguts serien amplis, independentment dels enfocaments alternatius considerats. Segons aquest estudi, s'espera que els beneficis econòmics que s'aconseguirien amb una reducció de la contaminació atmosfèrica als nivells recomanats per l'OMS serien de 700 i 1.600 euros per persona i any, és a dir, un total de 3.000 i 6.400 milions d'euros.

Els efectes adversos en la salut i els costos econòmics de la contaminació atmosfèrica no es distribueixen de forma equitativa. Factors com la posició socioeconòmica, l'edat i la predisposició augmenten el risc de patir els efectes nocius que provoca la contaminació atmosfèrica en la salut. L'exposició a la contaminació del trànsit, principal causant de l'escassa qualitat de l'aire de l'àrea metropolitana de Barcelona, també és un dels factors de risc. L'estructura urbana d'aquesta zona, on la gent acostuma a viure molt a prop de carrers atafegats i amb concentracions de contaminació especialment elevades suggereix que un percentatge elevat dels problemes per a la salut es deu al trànsit. Caldria fer una avaluació més profunda per planificar aquesta distribució, ja que podria proporcionar informació més que valuosa als encarregats d'elaborar polítiques sobre el tema per tal de replantejar-se l'actual desenvolupament urbà de la zona. En el futur i a mesura que la població augmenti i el trànsit s'intensifiqui a l'àrea metropolitana de Barcelona, l'impacte i el cost de la contaminació atmosfèrica per a les persones i la societat, en general, seran cada vegada més greus, si no es prenen les mesures adequades al més aviat possible. Els beneficis d'aquestes accions són grans, i, a mesura que la qualitat de l'aire millori, es podran notar immediatament i a llarg termini.



Les autoritats locals de l'àrea metropolitana de Barcelona han desenvolupat un pla d'actuació per reduir els nivells de contaminació atmosfèrica fins al que estableix la UE. Es tracta d'un primer pas molt important per reduir l'impacte de la contaminació atmosfèrica en la salut dels habitants de la zona. Tanmateix, com que un percentatge important de persones queda exposat a nivells inferiors als límits esmentats, el fet d'identificar i implementar estratègies de mitigació que, finalment, permetin assolir els nivells proposats per l'OMS, resulta realment important, i produiria beneficis addicionals importants per als habitants de l'àrea metropolitana de Barcelona.

8. Bibliografia

- [1] Pope, C.A., 3rd and D.W. Dockery, *Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect*. J Air Waste Manag Assoc, 2006. **56**(6): p. 709-42.
- [2] Sunyer, J., et al., *Air pollution and mortality in Barcelona*. J Epidemiol Community Health, 1996. **50 Suppl 1**: p. s76-80.
- [3] Sunyer, J. and X. Basagana, *Particles, and not gases, are associated with the risk of death in patients with chronic obstructive pulmonary disease*. Int J Epidemiol, 2001. **30**(5): p. 1138-40.
- [4] Krewski, D., et al., *Mortality and long-term exposure to ambient air pollution: ongoing analyses based on the American Cancer Society cohort*. J Toxicol Environ Health A, 2005. **68**(13-14): p. 1093-109.
- [5] McConnell, R., et al., *Traffic, susceptibility, and childhood asthma*. Environ Health Perspect, 2006. **114**(5): p. 766-72.
- [6] Gauderman, W.J., et al., *Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study*. Lancet, 2007. **369**(9561): p. 571-7.
- [7] Nel, A., *Atmosphere. Air pollution-related illness: effects of particles*. Science, 2005. **308**(5723): p. 804-6.
- [8] Departament de Medi Ambient i Habitatge. Govern de Catalunya (Spain). Available at: [<http://mediambient.gencat.net>].
- [9] WHO (World Health Organization). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment*. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02. 2006.
- [10] Sunyer, J., et al., *Patients with chronic obstructive pulmonary disease are at increased risk of death associated with urban particle air pollution: a case-crossover analysis*. Am J Epidemiol, 2000. **151**(1): p. 50-6.
- [11] Querol, X., et al., *PM10 and PM2.5 source apportionment in the Barcelona Metropolitan Area, Catalonia, Spain*. Atmospheric Environment, 2001. **35**: p. 6407-6419.
- [12] Querol, X., et al., *Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in Spain*. Journal of Aerosol Science, 2004. **35**(9): p. 1151-1172.
- [13] Querol, X., et al., *Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM10 and PM2.5) across Spain 1999-2005*. Atmospheric Environment, doi:10.1016/j.atmosenv.2006.10.071, 2007.
- [14] NRC (National Research Council). *US National academy of science committee Estimating the Health-Risk-Reduction Benefits of Proposed Air Pollution Regulations*. ISBN-10: 0-309-08609-4. 2002.
- [15] Kunzli, N., et al., *Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment*. Lancet, 2000. **356**(9232): p. 795-801.
- [16] Medina, S. and E. Boldo, *and contributing members of the APHEIS group. APHEIS: Health Impact assessment of Air Pollution Communication Strategy. Third year report*. Available at: [<http://www.apheis.net>]. ISBN: 2-11-094838-6. 2005.
- [17] Medina, S., et al., *Apheis: public health impact of PM10 in 19 European cities*. J Epidemiol Community Health, 2004. **58**(10): p. 831-6.
- [18] Boldo, E., et al., *Apheis: Health impact assessment of long-term exposure to PM(2.5) in 23 European cities*. Eur J Epidemiol, 2006. **21**(6): p. 449-58.
- [19] ENHIS (European Network of Health Information System). *WP5: Health impact assessment. ENHIS-1 final report and city report*. Available at: [<http://www.apheis.net>]. 2006.
- [20] CAFE (Clean Air For Europe). *Commission staff working paper. The communication on Thematic on air pollution and the directive on "Ambient air quality and cleaner air for Europe. Impact assessment*. COM(2005)446 final. Available at: [<http://ec.europa.eu/environment/air/cale/index.htm>]. 2005.
- [21] WHO (World Health Organization). *Country profiles of Environmental Burden of Disease*. Available at: www.who.org. 2007.
- [22] Ostro, B. and L. Chestnut, *Assessing the health benefits of reducing particulate matter air pollution in the United States*. Environ Res, 1998. **76**(2): p. 94-106.
- [23] NRC (National Research Council). *Risk assessment in the federal government: Managing the process*. National Academies Press. Washington, DC. 1983.
- [24] Departament de Medi Ambient i Habitatge. Govern de Catalunya (Spain). *Pla d'actuació associat a la declaració de les zones de protecció especial de l'ambient atmosfèric pels contaminants diòxid de nitrogen i pertícules en suspensió*. Internal report, 2007.
- [25] WHO (World Health Organization). *Health Aspects of Air Pollution. Results from the WHO project "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe"*. Report E083080. June. 2004.
- [26] Abbey, D.E., et al., *Long-term ambient concentrations of total suspended particulates, ozone, and sulfur dioxide and respiratory symptoms in a nonsmoking population*. Arch Environ Health, 1993. **48**(1): p. 33-46.



- [27] WHO (World Health Organization). *Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and ozone (O3)*. EUR/04/5042688. 2004.
- [28] Lacasana, M., A. Esplugues, and F. Ballester, *Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects*. Eur J Epidemiol, 2005. **20**(2): p. 183-99.
- [29] Ward, D.J. and J.G. Ayres, *Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review*. Occup Environ Med, 2004. **61**(4): p. e13.
- [30] Le Tertre, A., et al., *Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities*. J Epidemiol Community Health, 2002. **56**(10): p. 773-9.
- [31] Katsouyanni, K., et al., *Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design*. Eur Respir J, 1995. **8**(6): p. 1030-8.
- [32] Katsouyanni, K., et al., *Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project*. Epidemiology, 2001. **12**(5): p. 521-31.
- [33] Pope, A., M. Thun, and M. Namboodiri, *Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S adults*. Am J Respir Crit Care Med. **151**:669-74. 1995.
- [34] Dockery, D.W., et al., *An association between air pollution and mortality in six U.S. cities*. N Engl J Med, 1993. **329**(24): p. 1753-9.
- [35] Krewski, D., B. RT, and G. MS, *Re-analysis of the Harvard Six-cities study and the American Cancer Society study of air pollution and mortality*. Cambridge, MA: Health Effects Institute. 2000.
- [36] Pope, C.A., 3rd, et al., *Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution*. Jama, 2002. **287**(9): p. 1132-41.
- [37] Hoek, G., et al., *Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study*. Lancet, 2002. **360**(9341): p. 1203-9.
- [38] Nafstad, P., et al., *Urban air pollution and mortality in a cohort of Norwegian men*. Environ Health Perspect, 2004. **112**(5): p. 610-5.
- [39] Filleul, L., et al., *Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey*. Occup Environ Med, 2005. **62**(7): p. 453-60.
- [40] Gehring, U., et al., *Long-term exposure to ambient air pollution and cardiopulmonary mortality in women*. Epidemiology, 2006. **17**(5): p. 545-51.
- [41] Naess, O., et al., *Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway*. Am J Epidemiol, 2007. **165**(4): p. 435-43.
- [42] Miller, B.G. and J.F. Hurley, *Life table methods for quantitative impact assessments in chronic mortality*. J Epidemiol Community Health, 2003. **57**(3): p. 200-6.
- [43] Abbey, D.E., et al., *Estimated long-term ambient concentrations of PM10 and development of respiratory symptoms in a nonsmoking population*. Arch Environ Health, 1995. **50**(2): p. 139-52.
- [44] Dockery, D.W., et al., *Effects of inhalable particles on respiratory health of children*. Am Rev Respir Dis, 1989. **139**(3): p. 587-94.
- [45] Dockery, D.W., et al., *Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms*. Environ Health Perspect, 1996. **104**(5): p. 500-5.
- [46] Braun-Fahrlander, C., et al., *Respiratory health and long-term exposure to air pollutants in Swiss schoolchildren. SCARPOL Team. Swiss Study on Childhood Allergy and Respiratory Symptoms with Respect to Air Pollution, Climate and Pollen*. Am J Respir Crit Care Med, 1997. **155**(3): p. 1042-9.
- [47] Dusseldorp, A., et al., *Associations of PM10 and airborne iron with respiratory health of adults living near a steel factory*. Am J Respir Crit Care Med, 1995. **152**(6 Pt 1): p. 1932-9.
- [48] Hiltermann, T.J., et al., *Asthma severity and susceptibility to air pollution*. Eur Respir J, 1998. **11**(3): p. 686-93.
- [49] Neukirch, F., et al., *Short-term effects of low-level winter pollution on respiratory health of asthmatic adults*. Arch Environ Health, 1998. **53**(5): p. 320-8.
- [50] Zhang, J. and K.F. Yu, *What's the Relative Risk?: A Method of Correcting the Odds Ratio in Cohort Studies of Common Outcomes*. JAMA, 1998. **280**(19): p. 1690-1691.
- [51] Heller, R.F., et al., *Impact numbers: measures of risk factor impact on the whole population from case-control and cohort studies*. J Epidemiol Community Health, 2002. **56**(8): p. 606-10.
- [52] Ostro, b., *Estimating the Health Effects of Air Pollutants: A Method with an Application to Jakarta*. World Bank Policy Research Working Paper 1301. Washington, D.C. 1994.
- [53] Idescat (Institut d'estadística de Catalunya). Available at [<http://www.idescat.net>].
- [54] Miller, K.A., et al., *Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women*. N Engl J Med, 2007. **356**(5): p. 447-58.



- [55] Jerrett, M., et al., *Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles*. Epidemiology, 2005. **16**(6): p. 727-36.
- [56] EPA (Environmental Protection Agency). *Regulatory Impact Analysis. 2006 National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution*. Available at [<http://www.epa.gov/ttn/ecas/ria.html>]. 2006.
- [57] Zemp, E., et al., *Long-term ambient air pollution and respiratory symptoms in adults (SAPALDIA study)*. The SAPALDIA Team. Am J Respir Crit Care Med, 1999. **159**(4 Pt 1): p. 1257-66.
- [58] Schikowski, T., et al., *Long-term air pollution exposure and living close to busy roads are associated with COPD in women*. Respir Res, 2005. **6**: p. 152.
- [59] Sunyer, J., et al., *Chronic bronchitis and urban air pollution in an international study*. Occup Environ Med, 2006. **63**(12): p. 836-43.
- [60] Heinrich, J., et al., *Improved air quality in reunified Germany and decreases in respiratory symptoms*. Epidemiology, 2002. **13**(4): p. 394-401.
- [61] Bayer-Oglesby, L., et al., *Decline of ambient air pollution levels and improved respiratory health in Swiss children*. Environ Health Perspect, 2005. **113**(11): p. 1632-7.
- [62] Hurley, F., et al., *Methodology for the cost-benefit analysis for CAFE. Vol. 2. Health Impact assessment*, Didcot, Oxon, United Kingdom, AEA Technology Environment (AEAT/ED51014/Methodology Volume 2 Issue 1); Available at: [http://europa.eu.int/comm/environment/air/cape/pdf/cba_methodology_vol2.pdf].
- [63] Viana, M., X. Querol, and A. Alastuey, *Chemical characterization of PM episodes in NE Spain*. Chemosphere, 2006. **62**(6): p. 947-56.
- [64] Querol, X., et al., *Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities*. Atmospheric environment 38:6547-6555, 2004.
- [65] Roemer, W., G. Hoek, and B. Brunekreef, *Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms*. Am Rev Respir Dis, 1993. **147**(1): p. 118-24.
- [66] Abbey, D.E., et al., *Chronic respiratory symptoms associated with estimated long-term ambient concentrations of fine particulates less than 2.5 microns in aerodynamic diameter (PM2.5) and other air pollutants*. J Expo Anal Environ Epidemiol, 1995. **5**(2): p. 137-59.
- [67] Clancy, L., et al., *Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study*. Lancet, 2002. **360**(9341): p. 1210-4.
- [68] Roosli, M., et al., *Years of life lost attributable to air pollution in Switzerland: dynamic exposure-response model*. Int J Epidemiol, 2005. **34**(5): p. 1029-35.
- [69] Miller, B. and F. Hurley, *Comparing estimated risks for air pollution with risks for other health effects*. Research Consulting Services. Institute of Occupational Medicine. Research report TM/06/01. March. 2006.
- [70] Mudu, P., et al., *Transport, energy and health*. Bettina Menne, Anil Markandya, Michael Joffe (eds): *Energy, Sustainable Development and Health*. Health and Global Environmental Change Series no. 3, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. In press. 2007.
- [71] EPA (Environmental Protection Agency), *Clean Air Interstate Rule: Regulatory Impact Analysis*. March, Washington DC. 2005.
- [72] Hall, J.V., V. Brajer, and F.W. Lurmann, *The health and related economic benefits of attaining healthful air in the San Joaquin Valley*. California State Fullerton, Institut for Economic and environmental Studies. Report. March. 2006.

Ultima versió: Gener 2008. Traduit de l'informe en anglès "The public health benefits of reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area", Nino Künzli and Laura Perez, Setembre 2007.





centre de recerca
en epidemiologia
ambiental

Doctor Aiguader, 88
E-08003 Barcelona
Tel +34 93 316 04 00
Fax +34 93 316 06 35

www.creal.cat



Generalitat de Catalunya



UNIVERSITAT
POMPEU FABRA

C S B Consorci Sanitari de Barcelona



IMAS
Institut Municipal
d'Assistència Sanitària