



ERS EUROPEAN
RESPIRATORY
SOCIETY
every breath counts

Qualitat de l'aire i salut.



2010 The Year of the
LUNG
Live. Learn. Breathe.

Una iniciativa de ERS per a l'Any del Pulmó

AUTORS

Nino Künzli, Laura Perez, Regula Rapp
Swiss Tropical and Public Health Institute, Basel, i
University of Basel, Basel, Switzerland

W www.Swisstph.ch

E Nino.Kuenzli@unibas.ch

Un projecte d'aquest fullet va ser revisat pel Comitè de Medi Ambient i Salut de la ERS (Isabella Annesi-Maesano, Jonathan Ayres, Bert Brunekreef, Bertil Forsberg, Francesco Forastiere, Juha Pekkanen, Yves Sibille, Torben Sigsgaard), Sylvia Medina, Hans Moshhammer, Peter Strähl and Michal Krzyzanowski

©2010 EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY

Publicat el setembre de 2010 per la European Respiratory Society

Avenue Ste-Luce 4, 1003 Lausanne, Switzerland

T +41 21 213 01 01

F +41 21 213 01 00

E info@ersnet.org

W www.ersnet.org

Amb el suport de

Swiss TPH
Swiss Tropical and Public Health Institute
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Institut Tropical et de Santé Publique Suisse



ISBN: 978-1-84984-008-8

Les versions d'aquest fullet estan també disponibles en altres idiomes: www.ersnet.org/airquality

RESPIRAR.....NET

Els dubtes i els equívocs pel que fa a la contaminació atmosfèrica a la nostra societat son molts, i porten sovint a errors de valoració per part dels ciutadans, que a vegades son induïts pels mitjans de comunicació. Amb la intenció de contribuir a la correcció d'aquesta situació, la Societat Europea de Pneumologia ha preparat el present document, editat en les diverses llengües parlades al territori europeu, que crec es de gran interès, no només pels professionals de la salut implicats en la atenció a les malalties respiratòries, si no també pel públic en general, i pels informadors molt especialment. Bona part dels grans interrogants d'aquesta temàtica son abordats en el text, d'una manera planera i fàcilment comprensible, amb l'ajuda d'un recull ampli de gràfics molt clarificadors.

El plantejament d'una presentació comuna pels diversos col·lectius de la societat europea es especialment apropiat per la temàtica del document, ja que la contaminació atmosfèrica es aliena a les fronteres, i hem pogut veure més vegades de les que hauríem volgut com el que succeeix en un país afecta a al qualitat del aire d'un territori més extens, amb implicacions per la salut de la població de més d'un estat.

La Societat Catalana de Pneumologia ha estat particip de la voluntat de difusió dels editors del document, i ha afavorit el que existís una versió en llengua catalana d'aquest, sabut que aquesta es la parla de set milions de ciutadans de la Europa meridional, i de la sensibilitat del país pels temes de salut ambiental, afavorida per la existència d'un nombre important d'investigadors focalitzats en aquesta temàtica que treballen en centres de recerca catalans.

Un desitjo una lectura gratificant, i us encoratjo a participar activament en totes les iniciatives destinades a millorar la salut ambiental de la nostra població.

*Eduard Monsó
President de la Societat Catalana de Pneumologia*



La contaminació atmosfèrica ha esdevingut el problema de salut provocat per l'entorn més important dels nostres dies, d'una magnitud quasi bé comparable al tabaquisme pel que fa al seu impacte en el conjunt de la població. La disminució del creixement pre-natal, del desenvolupament de la funció pulmonar, l'augment de la incidència d'asma i de la simptomatologia respiratòria en els nens, l'agreujament dels asmàtics i dels malalts amb MPOC, l'augment del risc de càncer de pulmó, el seu paper en l'aterosclerosi i en les malalties cardio-vasculars, i la reducció de l'esperança de vida son alguns dels efectes provocats per la contaminació de l'aire urbà.

Els vehicles a motor son en l'actualitat els majors responsables de la pobre qualitat de l'aire, sobretot aquells amb combustible diesel. La generació de partícules fines i ultrafines, altament tòxiques per les seves qualitats físico-químiques, per part de la combustió, però també del desgast dels materials en son l'origen.

Cada disminució en 10 µg/m³ en el nombre de partícules respirables en l'aire augmenta mig any l'esperança de vida. Aquest resultat obre les possibilitats de millorar notablement la salut de les poblacions urbanes amb intervencions ambientals al nostre abast, tal com han mostrat accions recents arreu. Si tenim en compte que la mitjana de les partícules en l'aire de les ciutats de l'àrea metropolitana de Barcelona es troben al voltant de 40-50 µg/m³ i que la OMS recomana no superar els 20 µg/m³, entendrem la magnitud del impacte en la salut pública d'aquest fenomen.

Les possibilitats d'accions preventives personals son escasses, passarien per allunyar-se tant com es pugui de les vies altament transitades, i sobretot triar vies amb pocs vehicles per fer exercici físic. També és possible que una dieta rica en anti-oxidants contraresti en part els efectes negatius de la contaminació. Però aquestes son accions menors, comparades amb el gran impacte que tenen les intervencions ambientals.

Així, quin és el paper dels pneumòlegs i dels metges en general? A la consulta, davant del pacient, pocs consells es poden donar. En canvi, hi veig un paper important com a col·lectiu pel que fa a fer conèixer la veu autoritzada de les societats científiques en els fòrums públics sobre els riscos de la contaminació en la salut i la necessitat de fer intervencions pel seu control per tal de reduir els nivells als que moltes altres ciutats d'Europa han assolit.

*Jordi Sunyer
CREAL*





INDEX

Pages

- 2 **1. EDITORIAL DE LA EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY**
- Bert Brunekreef
 - Francesco Forastiere
 - Nikolaos Sifakas
- 4 **2. INTRODUCCIÓ**
- Temes tractats i no tractats en aquest llibre
- 6 **3. CONTAMINACIÓ, PACIENTS I PÚBLIC**
- Alguns conceptes i qüestions fonamentals per tal d'entendre la relació entre contaminació, els seus efectes sobre la salut i la seva transcendència per al públic.
- 9 **4. CONTAMINANTS: FONTS I NIVELLS**
- Els principals constituents de la contaminació de l'aire, les seves fonts i la situació actual a Europa en termes d'emissió i de qualitat de l'aire.
- 23 **5. COM SABEM EL QUE SABEM SOBRE LA SALUT?**
- Visió general dels mètodes utilitzats per a investigar els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut, amb els seus punts forts i les seves limitacions. Els mètodes d'investigació epidemiològica són essencials a fi de comprendre els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut.

28	6. LA SALUT ESTÀ EN JOC <ul style="list-style-type: none">- Principals efectes sobre la salut associats amb nivells actuals de contaminació atmosfèrica
40	7. ABANS I DESPRÉS: BENEFICIS PER A LA SALUT PÚBLICA DE LA MILLORA EN LA QUALITAT DE L'AIRE <ul style="list-style-type: none">- Exemples de millora de la salut pública després d'intervencions polítiques que resultaren en una reducció de la contaminació atmosfèrica.
43	8. LA PARADOXA DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA: RISCS PETITS, GRAN CÀRREGA DE SALUT PÚBLICA <ul style="list-style-type: none">- Malgrat els riscos relatius associats amb els nivells actuals de contaminació atmosfèrica són normalment força petits, l'impacte general de la contaminació atmosfèrica sobre la salut pública és substancial i, per tant, els beneficis de les polítiques d'aire net poden ser molt grans.
49	9. EL PAPER DELS METGES I DELS PROFESSIONALS DE LA SALUT <ul style="list-style-type: none">- Com poden influir els metges i els professionals de la salut en els diferents nivells de prevenció per a reduir l'exposició i els efectes sobre la salut.
53	10. ANNEX <ul style="list-style-type: none">- Marc normatiu sobre les emissions a Europa- Aquest annex ofereix una perspectiva sobre contaminants específics pel que fa a la seva toxicitat i als seus efectes sobre la salut. Es limita a l'ozó, òxids de nitrogen, material particulat, gasos d'escapament dièsel i monòxid de carboni. Resumeix els resultats principals dels estudis experimentals recollits a l'informe de l'OMS sobre directrius de qualitat atmosfèrica [21].
62	11. ABBREVIACIONS
63	12. BIBLIOGRAFIA

1.

EDITORIAL DE LA EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY

THE CONTINUING CHALLENGE OF AIR POLLUTION



Once a severe but local problem of highly industrialised and densely populated cities, air pollution has now morphed into a more insidious threat to the public health of entire nations. Smoke from domestic coal fires, power plants and heavy industries has largely vanished from our skies. This has been achieved through the use of clean fuels, filtration of flue gases, improvements in process technology – and export of the most polluting industries to countries with lower wages, and less pollution control. At the same time, motor vehicle transport has increased enormously, and other sources of air pollution such as intensive livestock farming have emerged. Pollution is transported over long distances, and secondary pollutants such as ozone are formed through photochemical reactions. The erstwhile distinctions between ‘dirty’ cities and the ‘clean’ countryside have become blurred as a result, and nowadays a much larger fraction of the population is exposed to some form or level of hazardous air pollution than 50 years ago. Because air pollution, in some ways, is now less visible and less immediately irritating than it used to be, understanding and communicating the health risks has become more of a challenge.

The members of the ERS Environment Committee have now produced a booklet on air pollution and health that is an elegant attempt to explain to a wide audience what air pollution is in the current day and age, and what damage it still does to our health. The authors have found a welcome mix of scientific authority and clarity that will appeal to clinicians, public health practitioners, patient organisations, stakeholder representatives and informed members of the lay public.

That does not mean that this material is suitable for casual reading on the train home from work. This is only logical; a vast topic such as the health effects of air pollution cannot be treated too lightly, and the reader will need to dig in more than just occasionally. I recommend reading one chapter at a time – so that the next one can be appreciated even more the next day.

*Bert Brunekreef, PhD
Professor of Environmental Epidemiology
Institute for Risk Assessment Sciences, Utrecht University, the Netherlands*



Breathing is the most basic human function required to sustain life. More air enters the body and the bloodstream than any other substance. Unfortunately, humans are exposed to a variety of polluting substances due to industrial, heating and traffic emissions. These substances, notably particulate matter and gases, remain in the atmosphere as a dirty umbrella over cities and large urbanised areas. Breathing air contaminated with toxic substances entails health risks for individuals and has public health consequences. The health effects of air pollution have been observed over several decades. Policy measures during the 1960s and 1970s were able to reduce drastically the air contamination of the past and a widespread illusion was disseminated that the war against air pollution had been won. Research since the early 1990s, however, has clearly indicated that health effects still exist even at lower air pollution levels. Strict air quality guidelines have thus been advocated by the World Health Organization (WHO Air Quality Guidelines, 2006).

The European Respiratory Society believes that free access to clean air is a fundamental need and right for all citizens in the European Union. European, national, and local governments have a responsibility to assure that this fundamental right of the individual is respected and to act so that the maximum pollutant levels indicated by the WHO are observed. Unequal distribution of health risks associated with differential exposure to poor air quality between countries and communities, and within population groups in the same community, is a violation of the basic principle of environmental equity.


When it comes to dealing with the health effects of air pollution, respiratory physicians are immediately called upon: incidence and aggravation of asthma; chronic obstructive pulmonary disease (COPD); and lung cancer within their own professional field; but also cardiovascular conditions (including ischaemic heart disease and heart failure), often in patients already affected by smoking-related pulmonary diseases.

Against this background, the Environment and Health Committee of the European Respiratory Society has launched an initiative to provide respiratory physicians with instruments and tools to better understand all the complicated issues related to exposure to air pollution and its health effects. Nino Künzli, a leading figure in air pollution research, together with his collaborators, has conducted an extraordinary effort to condense in a few pages what all physicians and educated people need to know: the present state of our air, and of the research into the effects of air pollution.

But the duty of physicians is not limited to expanding their scientific knowledge in a rapidly evolving area: we believe that they should act as advocates to help reduce the ambient contamination of the air. They should recognise that air pollution is the largest environmental challenge for European citizens, one that currently limits the fundamental right of all individuals to breathe clean air. This challenge is associated with large health effects – effects that will continue to menace public health in the future. A strong commitment, then, is requested: take a leadership and an advocacy role in order to educate patients, and ask for large-scale strategies to reduce the harmful effects of air pollution.

*Nikolaos Siafakas
ERS President 2009–2010*

*Francesco Forastiere,
ERS Environment and Health Committee Chair*



2. INTRODUCCIÓ

Temes tractats i no tractats en aquest llibre

La contaminació atmosfèrica ambiental és una causa establerta de morbiditat i mortalitat, com el fum del tabac. La contaminació atmosfèrica, encara més que el tabaquisme passiu, no és pas un estil de vida que s'escull sinó una exposició ambiental omnipresent i involuntària, que pot afectar el 100% de la població, des de l'úter fins a la mort. Gran part de la població d'Europa encara viu en àrees amb una qualitat d'aire insalubre. Per a alguns contaminants i en determinades regions, aquesta situació no només no millora sinó que fins i tot s'està deteriorant. D'altra banda, els canvis en la combustió i les tecnologies de combustibles, la producció industrial, el moviment de mercaderies i la planificació urbana afecten els components i, per tant, possiblement, la toxicitat de la contaminació de l'aire, així com l'exposició de les persones a la mateixa.

Entendre les implicacions d'aquest perill mediambiental per a la salut pública és un repte, tant per als investigadors com per als responsables polítics en els seus esforços per a protegir la salut pública d'una manera sostenible. Igual que la medicina s'ha de basar en l'evidència, l'acció i la política de salut pública han d'estar basades en la ciència. Així doncs, els coneixements científics actuals han d'arribar als responsables polítics d'una manera entenedora. Això és particularment urgent a la Unió Europea, on les normes de qualitat de l'aire són molt menys estrictes que a molts estats membres i altres àrees del món i estan en conflicte amb els resultats de la investigació. Igual que amb el fum del tabac, la veu dels metges i altres professionals de la salut és fonamental a l'hora de modelar l'opinió del públic i dels responsables polítics. El propòsit d'aquest llibre és capacitar els metges i altres professionals de la salut per promoure una millor qualitat de l'aire, per defensar les necessitats sanitàries dels ciutadans i per assessorar els pacients. Aquest llibre proporciona una visió general dels coneixements actuals sobre la naturalesa i les conseqüències per a la salut d'aquest persistent problema mediambiental.

CONTINGUT

El contingut d'aquest llibre es limita a la contaminació atmosfèrica ambiental (o "a l'aire lliure"), procedent de fonts antropogèniques i d'activitats com ara la indústria i el trànsit. Aquestes fonts són comuns a totes les nacions i requereixen marcs de política internacional: la contaminació atmosfèrica no respecta les fronteres nacionals. En contrast amb el fum del tabac el risc per a la salut més important i prevenible a Europa la gent té molt poques opcions per a escapar de l'exposició personal a la contaminació atmosfèrica ambiental. Tot i que la gent passa la major part del seu temps sota cobert, és important assenyalar que la contaminació atmosfèrica procedent de fonts a l'aire lliure continua sent un determinant clau de l'exposició personal a agents tòxics en espais tancats. La contaminació de l'aire procedent de fonts sota cobert pròpiament dita no és objecte d'estudi en aquest llibre: el risc per a la salut més important en espais tancats el fum de tabac a l'ambient és el tema d'una altra publicació d'ERS, *Levantat la cortina de humo: 10 razones para una Europa sin humo* [1]. De la mateixa manera, mentre que la combustió de biomassa per a cuinar i obtenir calefacció suposa una enorme amenaça per a la salut a molts països arreu del món, l'assumpte no s'aborda directament en

aquest llibre. S'ha publicat recentment una revisió sobre els efectes de la combustió de biomassa [2].

Cada capítol d'aquest llibre comprèn text principal, figures i taules il·lustratives i requadres independents a fi de complementar els temes clau tractats en el text. El llibre no només resumeix els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut, sinó que també proporciona elements bàsics per comprendre qüestions metodològiques, fonts i concentracions de contaminació atmosfèrica i avaluació dels riscos per a la salut pública. El llibre acaba amb "El paper dels metges i els professionals de la salut", un resum del paper que els professionals de la salut poden desenvolupar a l'hora de combatre aquest problema. Els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut estan causats per una mescla complexa de centenars de contaminants. La majoria dels processos mitjançant els quals els diferents contaminants de la mescla afecten la salut encara no es comprenen del tot, però alguns contaminants s'han estudiat de manera extensa i estan subjectes a regulacions. L'annex d'aquest llibre dóna detalls sobre les regulacions existents per a determinats contaminants i resumeix els seus principals efectes sobre la salut. Al final hi ha un breu glossari de termes i referències.

El llibre no és una revisió exhaustiva de la literatura, sinó una síntesi de coneixements, amb referències a un conjunt seleccionat d'estudis, el focus dels quals se centra sobre resultats d'investigacions europees o altres investigacions clau. Estudis i revisions més recents són esmentats amb preferència. Esperem que aquest llibre doni al lector la possibilitat d'esdevenir un ciutadà informat, capaç de participar en un debat científic donant suport a polítiques estrictes que protegeixin la salut pública contra una causa prevenible de problemes de salut: la contaminació atmosfèrica.



3. CONTAMINACIÓ, PACIENTS I PÚBLIC

Alguns conceptes i qüestions fonamentals per tal d'entendre la relació entre contaminació, els seus efectes sobre la salut i la seva transcendència per al públic.

Tot i que les concentracions ambientals d'una gamma de contaminants atmosfèrics han disminuït durant els darrers 50 anys, els seus nivells actuals continuen afectant la salut de les persones. Els reptes per a entendre la contaminació i la seva relació amb la salut abracen la comprensió dels processos subjacents a l'emissió de contaminació atmosfèrica, incloent-hi les seves fonts i la interacció entre els diferents components de la mescla; la comprensió de les situacions d'exposició o canvis en l'exposició als contaminants atmosfèrics; la distinció entre els efectes de la contaminació atmosfèrica i els provocats per altres causes, i el fet d'entendre que els efectes depenen d'altres cofactors (requadre 3a). Cal tenir en compte aquestes qüestions fonamentals, no només en la investigació dels efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut, sinó també en la interpretació dels resultats de la investigació i en l'avaluació i comunicació de la seva rellevància per als pacients i per a la salut pública.

ELS CONTAMINANTS COM A MARCADORS D'UNA MESCLA

La contaminació atmosfèrica ambiental és una exposició ubiqüa d'una natura complexa (vegeu el capítol 4) i els seus efectes sobre la salut no es poden estudiar fàcilment. La mescla de contaminants de l'aire no pot caracteritzar-se en la seva totalitat ni replicar-se fàcilment en experiments que comportin l'exposició d'animals o voluntaris al laboratori. Aquests estudis experimentals tendeixen a investigar les propietats toxicològiques d'agents contaminants específics més que no pas les complexes interaccions de la mescla. Els estudis epidemiològics fan servir un o alguns contaminants com a marcadors d'una mescla de contaminants (p. ex. NO_2 o PM_{10}) però les associacions entre alguns marcadors de contaminació i els efectes sobre la salut poden no necessàriament reflectir una relació causal simple. Els efectes detectats podrien ser la conseqüència d'un o d'uns quants contaminants ambientals la presència dels quals es correlaciona amb el marcador utilitzat en els estudis. L'objectiu de les polítiques d'acció pot, per tant, controlar la mescla d'emissions específica d'una font més que no pas un únic contaminant.

ÀMPLIA GAMMA D'EFECTES SOBRE LA SALUT

Una de les conseqüències de la complexitat de la contaminació atmosfèrica és que els seus efectes sobre la salut també són complexos i comprenen nombroses i inespecífiques malalties. El nas i els pulmons són les parts del cos humà amb les quals la contaminació contacta en primer lloc. Segons les característiques físiques i químiques dels contaminants, l'estat anatòmic o fisiològic de la persona i el seu patró de respiració o nivell d'activitat, els contaminants poden afectar el sistema respiratori a diferents profunditats. Les partícules grosses afecten en particular les vies respiratòries altes, mentre que les partícules fines arriben a les vies respiratòries més petites i als alvèols, tot i que també es dipositen al nas. Els gasos hidrosolubles (com ara el SO_2) reaccionen amb la capa de mucositat de les vies respiratòries altes mentre que és molt més probable que gasos menys solubles (com el NO_2) arribin als alvèols.

Els contaminants poden posar en perill les pròpies defenses del sistema respiratori. La capa de mucositat i les cèl·lules ciliades són una primera línia de defensa important contra els contaminants que arriben a les vies respiratòries superiors. Tanmateix, els contaminants poden afectar la composició o producció de la mucositat i/o degradar la funció de l'epiteli ciliar. D'altra banda, els contaminants poden afectar les terminacions de les cèl·lules sensorials dels epitelis al llarg de les vies respiratòries, afectant el múscul llis i donant com a resultat

hiperactivitat a les vies respiratòries o un augment de la secreció de moc, provocant l'aparició de tos o flegma.

A les vies respiratòries inferiors, els contaminants poden afectar la segona línia de defensa, els macròfags alveolars i la capa cel·lular responsable de l'intercanvi de gasos amb la sang. La inflamació local afecta el bescanvi de gasos i la inflamació crònica produeix un engruïment de la barrera aire-sang. Els mediadors de la inflamació i els efectes autonòmics provoquen respostes sistèmiques més enllà de l'afectació pulmonar local, fenomen que explica la varietat de malalties cardiovasculars associades amb la contaminació atmosfèrica. L'observació d'efectes sistèmics ha obert noves vies d'investigació en els efectes sobre els sistemes reproductiu i neurològic. La varietat d'efectes sobre la salut provocats per la contaminació atmosfèrica es discuteix en el capítol 6.

EFECTES AGUTS I CRÒNICS

Els efectes aguts de la contaminació es poden sentir en qüestió d'hores o dies després de l'exposició, però altres efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut són el resultat d'una exposició crònica a llarg termini, que condueix a l'aparició de patologies cròniques. Si bé els efectes aguts i crònics de la contaminació atmosfèrica estan parcialment interrelacionats, és molt important fer-ne la distinció a l'hora de planificar i interpretar els estudis epidemiològics, com es comenta en el capítol 5.

RISCS INDIVIDUALS I SALUT PÚBLICA

El risc que la contaminació atmosfèrica suposa per a la salut d'una persona específica no es pot quantificar ni observar. No hi ha cap prova clínica ni cap eina de diagnòstic que ens permeti valorar el paper i l'efecte de la contaminació atmosfèrica sobre la salut d'un individu. Malgrat això, l'existència d'una gran quantitat de dades proporciona mesures quantitatives dels riscos associats amb la contaminació atmosfèrica, habitualment expressats en termes relatius, com a risc relatiu (RR) o, de manera similar, com a odds (OR). Aquestes mesures proporcionen una estimació de la probabilitat extra (teòrica) que un individu exposat experimenti un problema de salut. Així, mentre que un RR o una OR d'1,0 significa que l'individu exposat i el no exposat presenten el mateix risc per a la salut, no ens diu res sobre el risc absolut o la probabilitat de contraure la malaltia. Òbviament, amb això no n'hi ha prou per quantificar la rellevància sobre la salut pública de la contaminació atmosfèrica i de les polítiques d'aire net. La paradoxa de riscos relatius baixos front a una gran càrrega per a la salut pública deguda a la contaminació atmosfèrica es tracta al capítol 8.

Requadre 3a

Entendre la contaminació atmosfèrica i la salut: els reptes

La interacció entre la contaminació atmosfèrica i la salut és un tema complex i difícil: interpretar les investigacions i comunicar-ne el significat no és fàcil. Alguns dels reptes actuals en la investigació sobre la contaminació atmosfèrica s'enumeren a continuació.

LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA PROVÉ DE MÚLTIPLES FONTS

Nombrosos emissors contribueixen a la contaminació. Els processos de combustió mòbil i estacionària hi tenen un paper particularment dominant.

LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA ÉS UNA MESCLA DE MOLTS CONTAMINANTS

La contaminació atmosfèrica comprèn centenars de contaminants, dels quals només uns quants poden ser monitoritzats, investigats i regulats.

LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA ÉS UN PROCÉS DINÀMIC

Un cop emesos, els contaminants interaccionen entre si i amb el medi ambient de manera complexa, que pot dependre de la temperatura, la humitat i altres condicions ambientals. Així doncs, la contaminació experimenta canvis en la seva concentració, composició i possible toxicitat.

L'EXPOSICIÓ VARIA

Una gamma de factors determina si, i en quina mesura, la contaminació condueix a l'exposició (el contacte entre la contaminació i el cos humà). La proximitat a la font, les barreres físiques entre fonts i persones, el temps que les persones romanen en un ambient amb aire contaminat i el nivell d'activitat física són tots factors que influeixen la quantitat d'exposició i, en última instància, la dosi que arriba als òrgans diana.

ELS NIVELLS BAIXOS D'EXPOSICIÓ TAMBÉ SÓN RELLEVANTS

A la majoria dels països europeus i occidentals, la qualitat de l'aire és molt millor que a la dècada de 1950. Per tant, cal esperar que els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut siguin menors i molt menys evidents que, per exemple, el dràstic augment de la mortalitat i la morbiditat durant els episodis d'alta contaminació de la dècada dels cinquanta. Una simple ullada a algunes estadístiques sobre salut no revelarà mai els efectes sobre la salut de la contaminació atmosfèrica actual.

CAUSA I EFECTE NO SEMPRE SÓN CLARS

Mentre que els pacients poden presentar una varietat de símptomes i signes patològics que es tradueixen en un diagnòstic clínic compatible amb problemes de salut induïts per contaminació, aquests símptomes i signes són habitualment "no específics" de contaminació, de manera que la seva presència no revela la causa subjacent del problema. Per exemple, un infart de miocardi causat per la contaminació atmosfèrica no es pot diferenciar d'un infart provocat per qualsevol altre factor desencadenant d'una trombosi. No hi ha cap "malaltia específica de contaminació atmosfèrica", ni tampoc el tractament de malalties relacionades amb la contaminació atmosfèrica està dirigit a una causa específica (vegeu el capítol 9).

LA CONTAMINACIÓ NO ACTUA PAS SOLA

La salut és el resultat d'una àmplia gamma de factors exògens i endògens, que interactuen de manera complexa. Així, el tipus i l'abast dels efectes sobre la salut relacionats amb la contaminació atmosfèrica pot dependre, en última instància de la combinació de tot un conjunt de cofactors.



4.

CONTAMINANTS: FONTS I NIVELLS

Els principals constituents de la contaminació de l'aire, les seves fonts i la situació actual a Europa en termes d'emissió i de qualitat de l'aire.

INTRODUCCIÓ

La contaminació de l'aire es refereix als components de l'atmosfera – com ara material particulat, substàncies químiques o material biològic– que provoquen l'aparició d'efectes adversos a la salut dels éssers humans o d'altres organismes vius, o que danyen l'ambient. La contaminació atmosfèrica “inclou tant substàncies que no es troben a l'aire en condicions naturals com substàncies naturals que s'hi troben a concentracions més elevades del que és normal o a llocs inusuals. La contaminació atmosfèrica és produïda tant per processos naturals (com l'activitat volcànica o les tempestes de pols) com per activitats humanes (com la crema de combustibles fòssils o la producció química)”. La intervenció sobre la contaminació produïda pels éssers humans és l'objectiu dels responsables polítics i d'aquest llibre. En aquest capítol es resumeix la informació general extreta de la Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units, l'Organització Mundial de la Salut, l'Agència Europea de Medi Ambient, i altres en relació amb la contaminació de l'aire, els seus components, fonts, emissions i nivells de concentració.

Els contaminants atmosfèrics es poden classificar com a primaris o secundaris, depenent de com es van formar. Els contaminants primaris són aquells emesos directament per un procés induït per l'home, com el monòxid de carboni emès pels tubs d'escapament dels vehicles o el diòxid de sofre alliberat per les fàbriques. Els contaminants secundaris són aquells que es formen quan els contaminants primaris reaccionen o interaccionen a l'atmosfera. Un contaminant secundari important és l'ozó troposfèric (O_3), que és el resultat de reaccions químiques entre els contaminants primaris i la llum del sol (vegeu requadre 4a). Alguns contaminants, com partícules de diverses mides, poden ser tant primaris com secundaris.

Els contaminants també es poden classificar segons la font de la qual procedeixen. També és útil i pertinent diferenciar emissions de concentracions ambientals ("immissió") o qualitat de l'aire.

CONTAMINANTS ATMOSFÈRICS COMUNS I SECUNDARIS

Als països desenvolupats, els contaminants més importants emesos a l'atmosfera inclouen el diòxid de sofre (SO_2), òxids de nitrogen (NO_x) incloent-hi el diòxid de nitrogen (NO_2), compostos orgànics volàtils (COV), material particulat (PM, *Particulate Material*) i l'amoníac (NH_3). Aquests contaminants constitueixen el principal objectiu d'aquest llibre.

El diòxid de sofre, o SO_2 , pertany a la família dels gasos d'òxid de sofre (SO_x). El sofre és present en matèries primeres com el petroli cru, el carbó i els minerals de metalls comuns com ara l'alumini, el coure, el zinc, el plom i el ferro. Els gasos d'òxids de sofre es formen quan es crema un combustible que conté sofre, quan s'extrau gasolina del petroli i quan s'extreuen metalls a partir dels minerals.

Òxids de nitrogen (NO_x) és el terme genèric per a un grup de gasos molt reactius, tots els quals contenen nitrogen i oxigen en proporcions variables. Els NO_x s'emeten principalment com a resultat de la combustió a alta temperatura. El trànsit rodadé és una font dominant de NO_x .

A més dels seus efectes sobre la salut, els compostos de sofre i de nitrogen emesos a l'aire són potencialment acidificants i poden danyar ecosistemes terrestres o aquàtics sensibles. Els compostos de nitrogen són també potencialment eutrofitzants, és a dir, que poden provocar un excés de nutrients als sòls i a l'aigua.

Els COV són compostos químics orgànics la pressió de

vapor en condicions normals dels quals és prou alta per vaporitzar-se de manera significativa i entrar a l'atmosfera. Una àmplia gamma de molècules amb base de carboni, com ara aldehids, cetones i altres hidrocarburs lleugers, es classifiquen com a COV. Depenent del context, el terme pot fer referència tant a compostos orgànics ben caracteritzats com a mescles de composició variable.

La contaminació per PM inclou partícules primàries i secundàries. Aquestes últimes estan formades a partir de gasos precursors de PM com el SO_2 , els NO_x , el NH_3 i els COV. La contaminació per PM és una mescla complexa de partícules extremament petites i gotetes. La contaminació de partícules està formada per un nombre de components, incloent-hi àcids (com els nitrats i els sulfats), productes químics orgànics, metalls i pols orgànica o partícules de pols. En general, es caracteritza segons la seva mida. El requadre 4b descriu aquest grup tan important de contaminants amb més detall.

El O_3 és un altre dels principals gasos contaminants a moltes regions. Tot i que no s'emet directament, el O_3 es forma a l'atmosfera a partir de reaccions entre els NO_x i els COV en presència d'escalfor i llum solar. El requadre 4a descriu aquest altament rellevant i tòxic contaminant secundari amb més detall.

El NH_3 és un subproducte comú dels gasos emesos pels animals, degut a la conversió poc eficient del nitrogen de la dieta per part de l'animal. El bestiar i les aus de corral són freqüentment alimentats amb pinsos amb proporcions elevades de proteïnes, que contenen excés de nitrogen, per tal d'assegurar-se que els seus requeriments nutricionals estan coberts. El nitrogen que el metabolisme no transforma en proteïna animal (llet, carn o ous) s'excreta amb l'orina i els excrements. A més a més, l'acció microbiana allibera amoníac a l'aire durant la descomposició dels fems.

Altres contaminants atmosfèrics s'emeten normalment en menors quantitats, però poden tenir efectes importants sobre la salut a escala local o regional i, alguns d'ells estan sotmesos a reglamentació juntament amb els contaminants atmosfèrics més freqüents.

Les emissions de plom continuen sent una amenaça important per a la salut, malgrat la seva extraordinària disminució dels últims anys. El plom es troba de manera natural en el medi ambient així com a alguns productes manufacturats. Les principals fonts d'emissions de plom han estat històricament els vehicles a motor i les fonts industrials. Degut a l'eliminació del plom de la benzina

als EUA, les emissions de plom procedents del sector del transport als EUA va disminuir un 95% entre 1980 i 1999 i els nivells de plom a l'aire van disminuir un 94%. L'any 2000 va entrar en vigor una prohibició total de l'ús de benzina amb plom a la Unió Europea. Encara es fa servir benzina amb plom a algunes parts de Sud-americà, Àsia, Europa de l'est i Orient Mitjà, però un nombre cada cop més gran de països han elaborat plans per a prohibir la benzina amb plom en un futur pròxim. Als països on la benzina amb

plom està prohibida, els nivells més elevats de plom a l'aire es troben generalment a prop de foneries de plom. Altres fonts estacionàries de plom inclouen incineradores de residus i fabricants d'acumuladors de plom.

Un altre exemple d'un grup menor de contaminants emesos a l'atmosfera que poden, malgrat això, tenir efectes greus sobre la salut, és el dels contaminants orgànics persistents (COP). Els COP són compostos orgànics resistents a la degradació ambiental a través de processos

Taula 4.1. Principals contaminants primaris i secundaris produïts per l'activitat humana.

CONTAMINANTS	ABREVIATURES	FONT I MECANISME DE FORMACIÓ
CONTAMINANTS PRIMARIS		
Òxids de sofre/ diòxid de sofre	SO _x /SO ₂	Emesos durant la crema de carbó i petroli
Òxids de nitrogen/diòxid de nitrogen	NO _x /NO ₂	Emesos com a resultat de la combustió a alta temperatura
Monòxid de carboni	CO	Producte de la combustió incompleta de combustibles com el gas natural, el carbó o la fusta. El tub d'escapament dels vehicles és una font important de CO
Diòxid de carboni combustió	CO ₂	Gas d'efecte hivernacle procedent de la
Compostos orgànics volàtils	COV	Procedents de vapors de combustibles d'hidrocarburs i solvents
Material particulat	PM	Produït per processos d'erosió o de combustió. PM ₁₀ és la fracció de partícules en suspensió de diàmetre igual o inferior a 10 µm que penetren a la cavitat nasal. PM _{2.5} té partícules d'una mida màxima de 2.5 µm i poden entrar als bronquis i als pulmons
Amoníac	NH ₃	Emès per processos agrícoles
Plom	Pb	D'origen natural, produït per foneries de plom, contingut en pintures i canonades antigues
Contaminants orgànics persistents	COP	Generats a través de processos industrials o a partir dels seus subproductes
CONTAMINANTS SECUNDARIS		
Material particulat	PM	Format a partir de contaminants primaris gasosos i compostos del boirum fotoquímic, com ara el NO ₂
Ozó	O ₃	Format en presència de llum solar mitjançant una reacció química entre NO _x i COV

químics, biològics i fotolítics. Degut a això, s'ha observat que persisteixen en el medi ambient, són capaços de ser transportats a llargues distàncies, tenen capacitat de bioacumulació en els teixits humans i animals, es biomagnifiquen al llarg de les cadenes tròfiques i tenen impactes potencialment significatius en la salut dels éssers humans i el medi ambient. Els COP inclouen pesticides com ara l'aldrin, el clordà, el DDT, la dieldrina o l'endrina. D'altres, són substàncies utilitzades en processos industrials i en la producció d'una gamma de productes com dissolvents, clorur de polivinil i productes farmacèutics. Amb tot, la majoria són subproductes de processos industrials com la combustió de residus.

A la taula 4.1 figuren els principals contaminants primaris i secundaris produïts per l'activitat humana.

FONTS DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA

Hi ha múltiples fonts de contaminació atmosfèrica a les ciutats i àrees rurals. Hi ha moltes maneres de caracteritzar aquestes fonts. A continuació es presenten algunes de les principals fonts i els seus contaminants associats.

El transport per carretera

La font més important de contaminació atmosfèrica a moltes zones del món és el transport per carretera. El transport per carretera fa referència a totes les emissions del trànsit rodat, amb independència de la mida o la finalitat del vehicle. Les emissions de carretera contribueixen de maneres diferents a la contaminació atmosfèrica. Tot i que a molts vehicles moderns el gas del tub d'escapament passa per un convertidor catalític abans de ser emès a l'exterior, la combustió de la gasolina o el gasoil per part dels vehicles de motor condueix a la producció de gasos d'escapament que contenen diversos contaminants. Aquests contaminants generalment inclouen CO, NO_x, COV, MP en suspensió i una gamma d'additius. Alguns països encara fan servir additius amb plom a la gasolina.

Les emissions del tub d'escapament no són pas l'única font de contaminants relacionats amb el trànsit. Les emissions per evaporació del combustible també poden ser importants, especialment les dels vehicles que utilitzen gasolina. A més, el trànsit escampa i posa de nou en suspensió quantitats substancials de partícules procedents del desgast dels pneumàtics o dels components del sistema de fre i de l'abradió dels

materials de la superfície de la carretera. En contrast amb altres fonts de contaminació, les emissions del trànsit es produeixen molt a prop d'on la gent viu, treballa, passeja i es desplaça. Per aquesta raó, els contaminants relacionats amb el trànsit requereixen una particular atenció tant per part dels investigadors com dels responsables polítics (vegeu el requadre 4d i l'annex 1)

Fons de combustió estacionàries

La crema de combustibles fòssils a plantes industrials, refineries i plantes d'energia i per a ús domèstic (com la calefacció i la cuina) és també una font important de contaminació atmosfèrica. La combustió a alta temperatura pot ser una font de NO_x, i també de SO₂ si hi ha sofre al combustible. La crema de combustible també emet COV, especialment la de carbó i petroli. Aquesta contaminació pot ser també deguda a la presència de fuites a plantes químiques. Escalfar i cuinar amb llenya s'associa amb emissions de partícules.

Fons intermitents

Els incendis forestals i la crema de biomassa representen una font important d'emissions de combustió, incloent-hi

D'ON VENEN LES DADES SOBRE EMISSIONS A EUROPA?

Els nivells d'emissió i les tendències a Europa es resumeixen basant-se en l'informe inventari d'emissions presentat anualment per la convenció de la Comunitat Europea sobre la contaminació atmosfèrica transfronterera a gran distància (LRTAP, Long-range Transboundary Air Pollution) [3], que presenta les principals fonts de les emissions de contaminació atmosfèrica a Europa i les tendències relacionades des de 1990. L'informe és elaborat cada any per la Comissió Europea com a contribució oficial a la secretaria per al Consell Executiu de la Convenció LRTAP. Els participants en el Conveni LRTAP (inclosa la Comunitat Europea) aporten dades sobre emissions per a un nombre important de contaminants atmosfèrics, incloent-hi SO_x, NO_x, COV diferents del metà, NH₃, CO, PM primari (PM₁₀ i PM_{2,5}), metalls pesants i COP. L'informe agrupa les emissions en categories de fonts clau, com el transport per carretera, indústries manufactureres i construcció, electricitat pública, etc.

Les emissions primàries de diferents fonts d'una mateixa àrea geogràfica se sumen per crear inventaris d'emissions. Compilar inventaris complets i consistents és un repte degut a l'enorme quantitat de dades i els complexos mètodes de creació de models que es necessiten per a confeccionar-los. Mentre que els contaminants secundaris no es mesuren directament, les emissions primàries poden ser utilitzades per estimar la formació de subproductes secundaris. Cal assenyalar també que a Europa, les estimacions d'emissions no sempre estan disponibles cada any per a tots els contaminants, degut a que de vegades les dades aportades pels diferents països són incompletes. Les sèries temporals de dades per a les emissions de PM (PM₁₀ i PM_{2,5}) també són limitades.

NO_x, CO, COV i PM. Les emissions de dioxines poden ser el resultat de la incineració de residus, però també d'incendis accidentals i fins i tot d'esdeveniments planejats, com ara una foguera. Qualsevol operació industrial també pot generar emissions fugitives intermitents: per exemple,

es pot emetre PM quan el vent aixeca matèries primeres de les reserves acumulades al descobert.

Fonts naturals

Molts gasos traça i partícules que es troben a l'atmosfera són generats per processos naturals. Els arbres i altra vegetació poden alliberar COV biogènics. Les erupcions volcàniques alliberen cendres. L'aerosol marí i la terra que arrossega el vent són producte de processos naturals. Les tempestes de pols poden causar increments en les concentracions de PM, no només en regions àrides, sinó també allà on la pols és transportada per les condicions climàtiques (vegeu el requadre 4).

EMISSIONS DE CONTAMINANTS ATMOSFÈRICS A EUROPA

Les activitats de l'ésser humà són les forces impulsores darrere de la contaminació de l'aire. El consum d'energia, les activitats industrials, la demanda de transport i

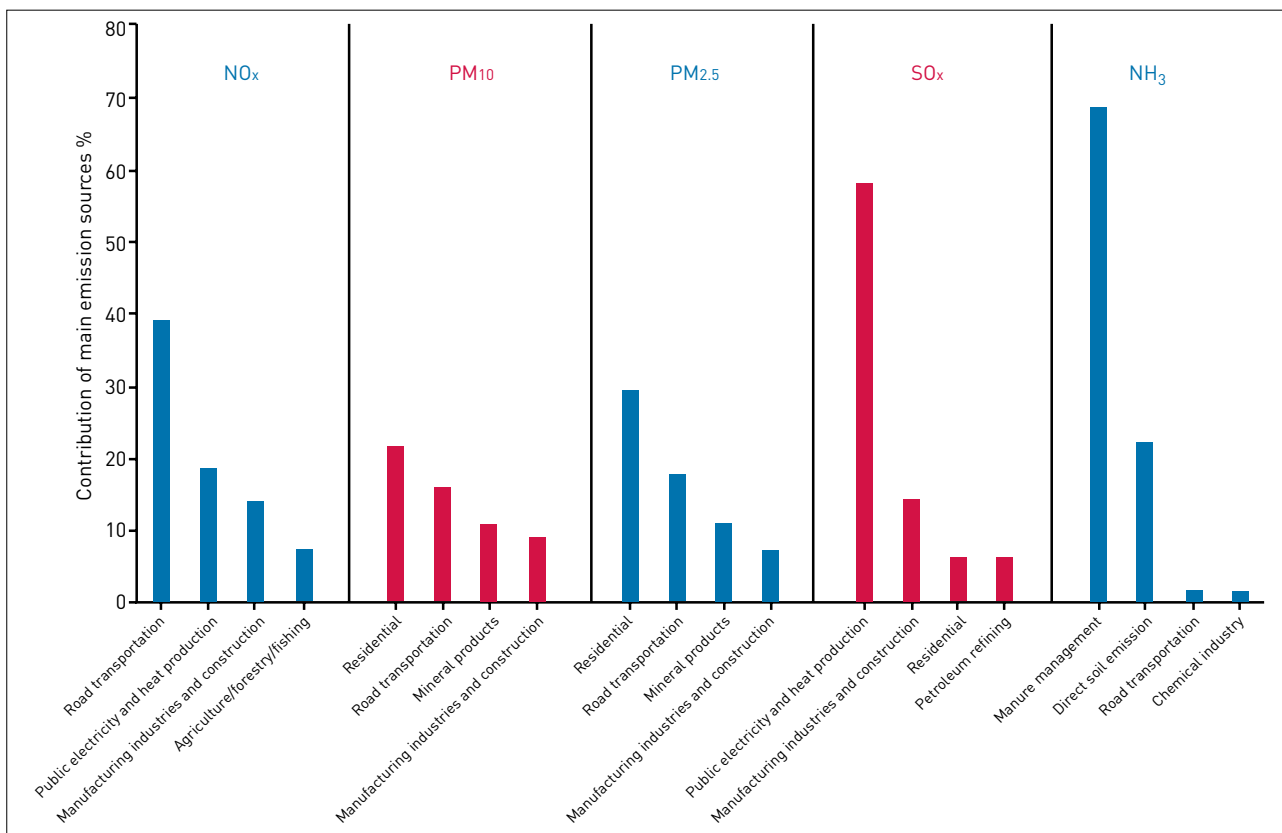


Figura 4.1. Contribucions de diverses fonts d'emissió al total d'emissions de NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, SO_x, i NH₃ a Europa l'any 2006. Adaptat de [3].

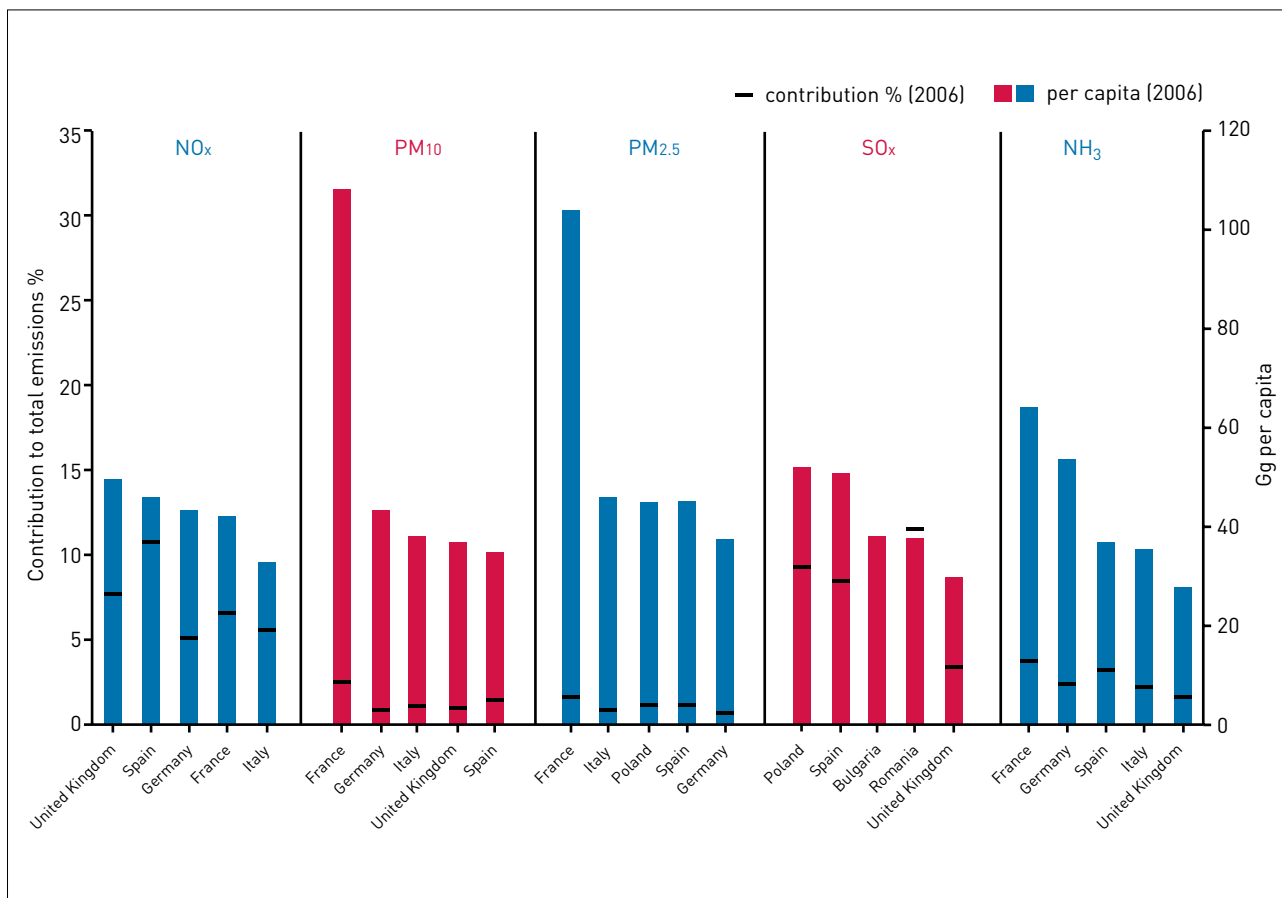


Figura 4.2. Contribucions nacionals al total d'emissions de NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, SO_x, i NH₃ a alguns països europeus el 2006. Adaptat de [3].

l'agricultura són les forces específiques més directament vinculades a les emissions. El nivell de desenvolupament d'un país també influeix de forma directa el tipus i el nivell d'emissions.

A Europa, el transport per carretera és la font més significativa de NO_x, i la segona font més important d'emissions primàries de PM₁₀ i PM_{2.5} (fig. 4.1). Les indústries manufactureres i la construcció també són fonts significatives de NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} i SO_x. L'electricitat pública i la producció de calor són els principals contribuents a les emissions de SO_x i la segona font més significativa d'emissions de NO_x. Les activitats agrícoles (gestió dels fems i l'emissió directa del sòl) són responsables de la gran majoria d'emissions de NH₃, aportant-ne més del 90% del total.

Quan es desglossen les dades per països, els emissors més importants, com cal esperar, són països amb grans poblacions. Per càpita però, Espanya és un gran emissor

de NO_x i SO_x a Europa, mentre que Polònia, Bulgària i Romania també produeixen grans quantitats de SO_x (fig. 4.2).

Existeix un marc regulador per tal de reduir les emissions a tot Europa a escales de temps diferents (vegeu l'annex 1). Tot i que les emissions de diversos contaminants estan disminuint, les reduccions encara han de complir els objectius marcats per a la majoria de contaminants. A tot Europa, s'ha assolit la major reducció percentual d'emissions per als SO_x: les emissions el 2006 eren gairebé un 70% més baixes que el 1990 i estan a prop de complir els objectius (fig. 4.3). Aquesta reducció és el resultat de les polítiques per a obligar les plantes d'energia que produeixen calor i electricitat a millorar el seu equipament, passar a utilitzar combustibles més nets i esdevenir més eficients. Les emissions d'altres contaminants atmosfèrics clau també van disminuir durant aquest període, però en menor grau. Durant el

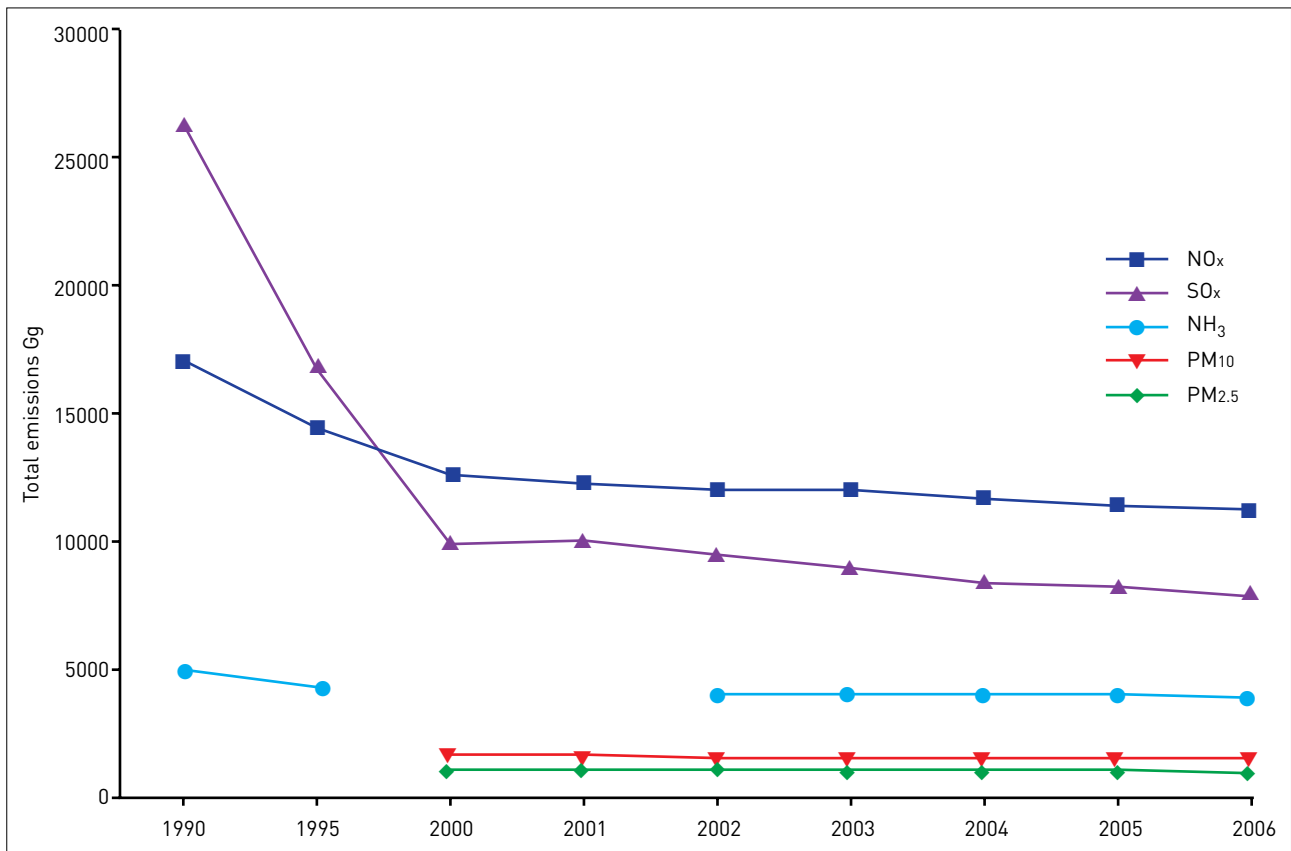


Figura 4.3. Evolució de les emissions de NO_x, SO_x i NH₃ entre 1990 i 2006 i de PM₁₀ i PM_{2.5} a Europa entre 2000 i 2006. Gg: gigagramms. Adaptat de [3].

D'ON VENEN LES DADES SOBRE LA QUALITAT DE L'AIRE A EUROPA?

Avui dia, l'avaluació de la qualitat de l'aire la duen a terme de manera rutinària les autoritats locals o nacionals de molts països. Aquest és un punt de partida fonamental per a la gestió de la qualitat de l'aire. A la majoria de països però, només es mesuren un nombre limitat d'indicadors de la contaminació atmosfèrica per tal de caracteritzar la qualitat de l'aire. En general, aquests inclouen els contaminants atmosfèrics més comuns descrits anteriorment. Aquests paràmetres són els que s'han fet servir com a indicadors en estudis epidemiològics. Els mètodes per a mesurar la qualitat de l'aire varien considerablement i abracen des de campanyes intermitents realitzades amb captadors passius fins a sistemes d'anàlisi remota automàtics, basats en l'espectroscòpia d'absorció de la llum. A Europa, s'han fet molts esforços durant la darrera dècada per a estandarditzar i harmonitzar les tècniques de supervisió i establir plataformes per a l'intercanvi de dades.

A continuació es presenta una visió global de la situació de l'aire a Europa pel que fa a la seva qualitat, basada en una avaluació duta a terme per l'Agència Europea del Medi Ambient (AEMA) fent servir dades sobre la concentració de contaminants atmosfèrics subministrades per països membres a AirBase, una base de dades en línia amb informació sobre la qualitat de l'aire a Europa [4]. Cal destacar que les dades d'AirBase depenen en gran mesura de la ubicació de les estacions de vigilància en relació amb les fonts. Les estacions de monitoratge es classifiquen generalment com a rurals, suburbanes o urbanes. També es classifiquen com a estacions "punt calent" quan es troben a prop d'àrees amb gran concentració de trànsit rodat o activitat industrial; o estacions "background" o de fons quan mesuren els nivells basals. Les definicions d'aquestes categories poden variar segons les agències i els països.

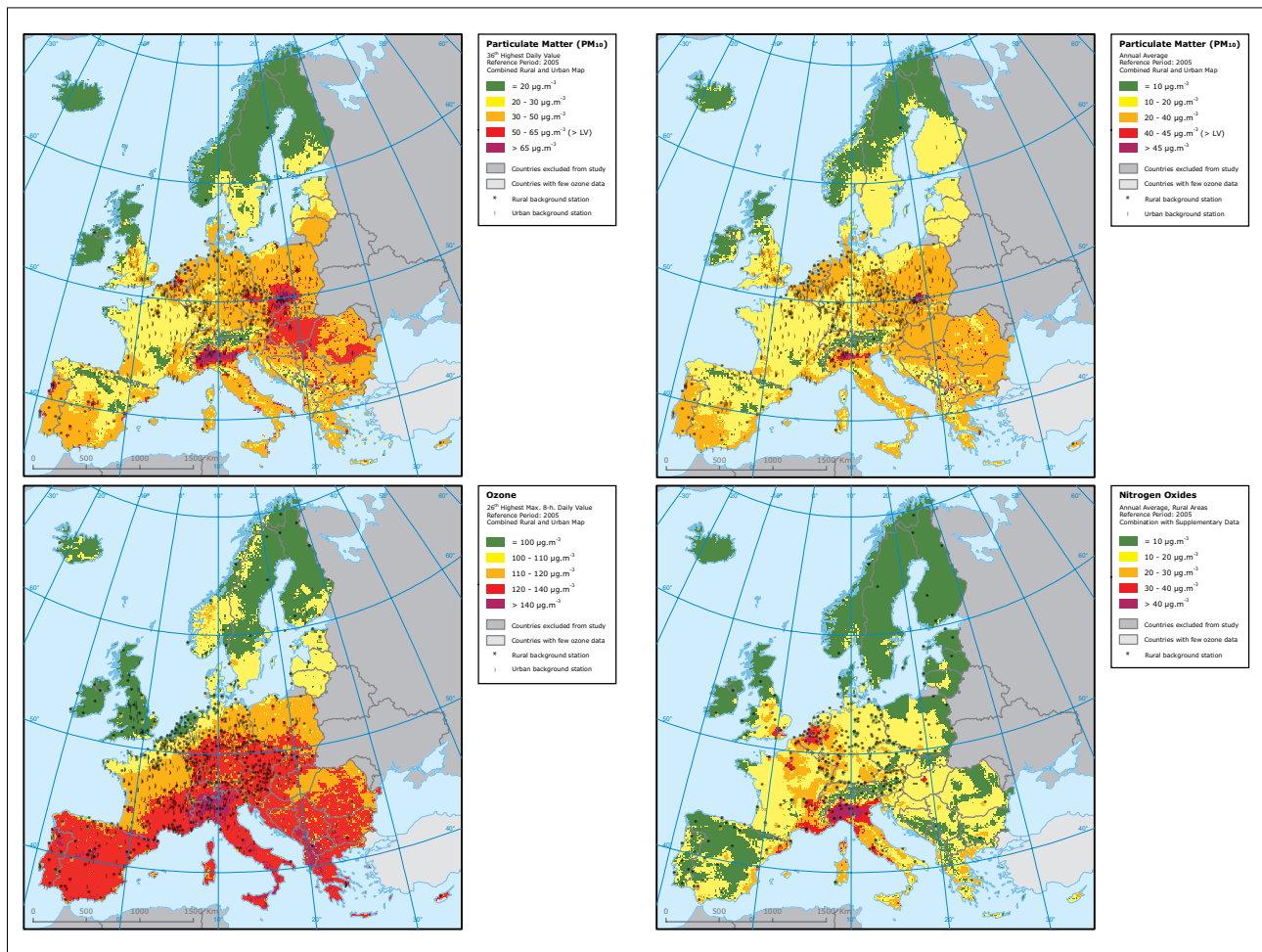


Figura 4.4. Mapes interpolats que mostren la qualitat de l'aire a Europa pel que fa a l'ozó, PM10 i NO₂. Els mapes han estat proporcionats per l'AEMA i es poden consultar a <http://dataservice.eea.europa.eu>. Han estat realitzats a partir de les dades proporcionades per AirBase en combinació amb altres models d'emissió. Aquests mapes són eines d'avaluació per a ser utilitzades a escala europea i poden diferir d'avaluacions realitzades a escala nacional.

mateix període, les reduccions de les emissions dels tres contaminants atmosfèrics principals responsables de la formació d'ozó troposfèric nociu van oscil·lar entre el 35% per als NO_x, el 44% per als COV diferents del metà i el 53% per al CO. Les xifres per a les emissions de PM10 i PM2.5 han estat compilades només per al període 2000-2006, durant el qual les emissions d'ambdós contaminants van disminuir tan sols un 10% aproximadament. El transport per carretera és una font important de PM i NO_x i la lentitud en la reducció d'aquestes emissions reflecteix el fet que les polítiques de transport per a limitar emissions no són suficients per a compensar l'ús cada cop més freqüent de cotxes d'ús personal i de camions pesants a Europa.

QUALITAT DE L'AIRE A EUROPA

La qualitat de l'aire depèn tant de les emissions com dels patrons temporals i espacials de la dispersió, les reaccions químiques i la formació de contaminants secundaris. La qualitat de l'aire s'anomena de vegades immissió. Les emissions persistents de contaminants atmosfèrics s'han traduït en una qualitat d'aire molt pobre a moltes parts d'Europa. La preocupació per la mala qualitat de l'aire a Europa, no només fa referència a l'impacte que l'exposició al material particulat i a l'ozó (i en menor mesura al NO₂, SO₂, CO, plom i benzè) pugui tenir sobre la salut humana, sinó també a l'acidificació i eutrofització dels ecosistemes, al dany causat als ecosistemes i als cultius per l'exposició a l'ozó, al dany als materials i al patrimoni cultural degut a

l'exposició a l'acidificació i a l'ozó i als impactes dels metalls pesants i COP sobre la salut humana i els ecosistemes.

Les concentracions ambientals a tot Europa continuen excedint els estàndards fixats per la Unió Europea (fig. 4.4). L'annex 1 descriu en detall el marc regulador per a la qualitat de l'aire a Europa i el compara amb els d'altres regions o organitzacions. Són especialment preocupants els nivells d'ozó, PM10 i NO₂ que afecten les zones urbanes i suburbanes, així com les zones rurals. Per exemple, tot i que les concentracions d'ozó a Europa són actualment més baixes que els valors extraordinàriament elevats que vam veure el 2003, quan les concentracions a tot Europa

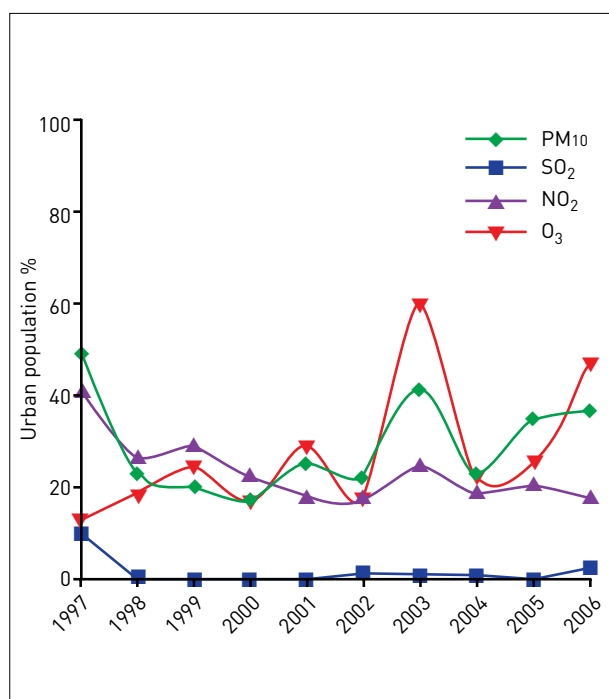


Figura 4.5. Percentatge de la població urbana europea resident en àrees on les concentracions de contaminants són més elevades que els valors límit/objectiu seleccionats, per als anys compresos entre 1997 i 2006. Els objectius són els següents. PM10: un valor límit de 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (mitjana de 24 hores), que no podrà ser superat més de 35 vegades en un any natural. NO₂: un valor límit anual de 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ozó: un valor objectiu de 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ com a mitjana màxima diària de 8 hores, que no podrà ser superat més de 25 dies per any natural, mitjanat en un període de 3 anys. SO₂: un valor límit de 125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ com a mitjana màxima diària, que no podrà ser superat més de 3 vegades per any natural. Adaptat de [5].

sobrepassaven els nivells permesos degut a llargs períodes d'elevades temperatures, les concentracions diàries d'ozó a la majoria de l'Europa continental encara excedeixen l'objectiu marcat per la Unió Europea. Les concentracions màximes durant el boirum d'estiu (o smog fotoquímic) excedeixen freqüentment els 140 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, arribant a 200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en algunes àrees. El valor límit fixat per la Unió Europea és de 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (diürna de 8 hores).

A moltes zones rurals s'observen concentracions mitjanes diàries de PM10 que superen els criteris europeus a curt termini (el valor límit diari de 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ no es pot superar durant més de 35 dies). A les estacions de trànsit de punt calent, el valor límit diari de PM10 és superat a molts països del sud d'Europa. En indrets de fons urbans de diverses regions europees també s'excedeix el valor límit diari de PM10. També s'observen mitjanes anuals de PM10 per sobre del nivell proposat per la UE (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a les principals àrees industrials d'Europa.

A tot Europa s'observen zones de superació dels valors anuals proposats de NO₂, superposant-se amb emplaçaments on se superen els valors proposats de PM10. Contràriament, les concentracions de SO₂ són, actualment, relativament baixes al llarg d'Europa i només s'observen excessos limitats per sobre dels estàndards de la UE.

En absència de mesures personals, les concentracions ambientals poden ser considerades com el millor indicador de l'exposició de la gent a contaminants procedents de l'exterior. Malgrat l'adopció de plans de gestió de la qualitat de l'aire a nivell local, regional, nacional i europeu durant els últims deu anys, les tendències en l'exposició de la població a diferents contaminants atmosfèrics mosta resultats heterogenis.

Tendàncies en l'exposició i l'incompliment dels valors límit

La fracció de la població urbana exposada a concentracions de SO₂ per sobre dels valors límit a curt termini (125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de mitjana diària, podent ser superada un màxim de 3 dies a l'any) va disminuir a menys de l'1% entre 1997 i 2006, fet que reflecteix l'aplicació de les polítiques promulgades durant els últims deu anys per limitar les emissions industrials (fig. 4.5). La situació per al NO₂ també ha millorat, malgrat que aproximadament el 25% de la població urbana encara viu a zones amb concentracions mitjanes diàries o anuals per sobre del límit. És més difícil trobar cap millora en la

situació de l'ozó i del PM. En anys normals, un màxim del 25% de la població urbana encara està exposada a concentracions per sobre dels valors límit; el 2003 any de concentracions d'ozó molt elevades aquesta fracció va augmentar fins aproximadament el 60%. Pel que fa a PM₁₀, la població urbana potencialment exposada a concentracions ambientals per sobre del valor límit determinat per la UE va oscil·lar entre el 23% i el 45% entre 1997 i 2004 sense que s'observés una tendència a disminuir durant aquest període. Encara que l'exposició a PM_{2.5} pugui ser un millor indicador dels efectes de la contaminació sobre la salut que no pas PM₁₀, disposem d'una quantitat considerablement inferior de dades de seguiment del primer. Una estimació dels nivells de PM_{2.5} basada en un coeficient PM_{2.5}/PM₁₀ d'aproximadament 0,8 suggereix que el valor proposat per la nova directiva de la UE sobre la qualitat de l'aire es va superar a moltes zones urbanes l'any 2004.

Límits a llarg termini

L'exposició mitjana a llarg termini és particularment rellevant en el desenvolupament de problemes crònics de salut; així, concentracions mitjanes anuals baixes són un important objectiu polític. Sembla que la majoria de països van mantenir, durant l'any 2005, les seves concentracions de PM₁₀ (mitjana anual de 40 µg·m⁻³) dins del valor límit anual establert per la UE (figs. 4.6 i 4.7), de mitjana, però una part important de la seva població continua exposada a nivells superiors. És important destacar que, amb l'excepció d'Escandinàvia, la major part dels països encara sobrepassen el valor objectiu proposat per l'Organització Mundial de la Salut (OMS; 20 µg·m⁻³), un límit basat en estudis científics i encara ignorat pels responsables polítics de la Unió Europea. El mateix és vàlid per a l'ozó i PM_{2.5}.

MESCLES DE CONTAMINANTS I MARCADORS

Tant l'enfocament de la política basada en les emissions com el de la que es basa en la qualitat de l'aire centren la seva atenció en contaminants individuals; en canvi, els efectes sobre la salut és molt probable que siguin el resultat d'exposicions simultànies a mesclades complexes. De fet, la literatura actual sobre epidemiologia i toxicologia no proporciona cap evidència que un sol contaminant o font sigui responsable de la totalitat de la gamma d'efectes sobre la salut que s'han observat (vegeu el capítol 6 i l'annex 2).

La toxicitat de la complexa mescla de contaminants atmosfèrics no s'entén del tot bé. Un cop són a l'atmosfera, els contaminants emesos per les diferents fonts pateixen transformacions addicionals i resulten afectats per factors ambientals com la temperatura i la humitat. Aquests processos modifiquen la composició i probablement, com a conseqüència, la toxicitat o les propietats biològiques de la mescla. Per exemple, l'associació entre les taxes de mortalitat diària i tant l'ozó com el PM, sembla que són més fortes quan tots dos contaminants estan presents.

A la llum d'aquests processos fisicoquímics i l'emissió simultània de múltiples contaminants, les emissions i les concentracions ambientals de contaminants específics poden servir com a marcadors de fenòmens de contaminació més complexos. Alguns contaminants poden servir com a marcadors d'emissions de fonts específiques. Per exemple, les partícules ultrafines o el carboni elemental poden ser millors marcadors que altres mides de PM o característics d'exposició a una combustió recent; i "la proximitat al trànsit" pot reflectir millor l'exposició a les complexes emissions del trànsit que cap altre contaminant específic mesurat amb un monitor en un lloc fix. S'estan explorant nous marcadors de contaminació atmosfèrica, com ara les propietats redox o les espècies de PM. No obstant això, la disponibilitat de les dades obtingudes amb aquests mètodes de monitoratge és escassa i, conseqüentment, d'ús limitat tant en recerca com en la formulació de polítiques.

Requadre 4a

Ozó troposfèric i el boirum (smog) d'estiu

L'ozó és un gas inodor i incolor, format per tres àtoms d'oxigen. L'ozó es troba tant a l'atmosfera superior de la Terra (estratosfera) com a nivell del sòl (troposfera). A l'estratosfera, l'ozó protegeix la superfície de la Terra de la llum ultraviolada de la radiació solar. L'ozó troposfèric, en canvi, suposa un problema de salut pública important (vegeu el requadre 6c). L'ozó és l'oxidant fotoquímic més abundant i reactiu de la troposfera.

L'ozó troposfèric es crea en presència de llum solar mitjançant una reacció química entre NO_x i COV. El procés consisteix en l'oxidació de l'òxid nítric (NO) a diòxid de nitrogen NO_2 . La degradació química de les molècules de NO_2 en unitats més petites mitjançant l'absorció de llum (fotòlisi) produeix NO i un àtom d'O en estat fonamental, que aleshores reacciona amb l'oxigen molecular per formar ozó. Com que les taxes d'emissió de NO_x i COV ambientals estan directament relacionades amb la taxa de producció d'ozó, aquests gasos, que són emesos per automòbils, plantes d'energia, calderes industrials, refineries, plantes químiques i altres fonts, s'anomenen precursors de l'ozó.

En un ambient saturat de NO_x , la concentració d'ozó disminueix a mesura que augmenten les emissions de NO_x . Així, a les zones properes a fonts importants de NO_x , l'ozó tendeix a ser "recuperat". Això resulta en una paradoxa: les concentracions d'ozó són sovint més baixes als centres urbans, sobretot al llarg d'artèries de trànsit intens i més altes en àrees suburbanes i rurals. A més, l'ozó es veu subjecte al transport atmosfèric a llarga distància. Per tant, fins i tot àrees remotes amb baixes emissions de NO_x o de COV es poden veure afectades per concentracions elevades d'ozó. El transport és determinat per processos meteorològics i químics i es pot estendre al llarg de centenars de quilòmetres.

Una altra conseqüència dels processos fisicoquímics subjacents a la contaminació per ozó és el seu marcat patró estacional i diürn. Les concentracions d'ozó són més altes durant l'estiu i a la tarda com a resultat del seu origen fotoquímic, assolint els seus pics més alts del dia generalment durant períodes calorosos i secs a l'estiu.

Els actuals estàndards de qualitat de l'aire per a l'ozó se centren en minimitzar el nombre de dies amb elevats pics de concentració. Els (normalment pocs) dies amb concentracions molt elevades reben generalment molta atenció mediàtica, mentre que el públic és menys conscient dels (habitualment llargs) períodes amb concentracions una mica més baixes, tot i que encara perjudicials, d'ozó. Les polítiques que es tradueixen en una reducció sostinguda de les concentracions d'ozó condueixen a majors beneficis per a la salut pública que les "polítiques d'emergència", destinades a prevenir l'aparició d'uns quants pics extrems. Per aquesta raó, els científics i els professionals de la salut pública demanen regulacions i polítiques que redueixin els nivells d'ozó durant l'estiu.

Requadre 4b

Partícules a l'aire: PM₁₀, PM_{2.5} i més enllà

La mescla de partícules sòlides i líquides suspeses a l'aire s'anomena "material particulat" (PM, "*Particulate Material*"). Les partícules varien en nombre, mida, forma, superfície, composició química, solubilitat, activitat redox i origen. El PM es classifica generalment segons el seu diàmetre. Les següents fraccions de PM són força freqüents i estan definides en base al seu diàmetre aerodinàmic:

- PST: partícules en suspensió totals. Inclouen totes les partícules en suspensió de fins a 30 µm de diàmetre.
- PM₁₀: partícules de diàmetre igual o inferior a 10 µm
- Partícules grosses: amb un diàmetre entre 2,5 i 10 µm
- PM_{2.5} o "partícules fines": amb un diàmetre igual o inferior a 2,5 µm
- Partícules ultrafines (UF) o PM_{0.1}: amb un diàmetre igual o inferior a 0,1 µm (generalment la seva mida oscil·la entre 1 i 100 nanòmetres)

Nanopartícules: cobreixen la mateixa gamma de mides que les partícules ultrafines (1-100 nm), però és el terme més utilitzat en el camp dels materials d'enginyeria.

El nivell de contaminació per PM es descriu normalment en termes de la seva massa (µm·m⁻³) o el seu nombre (n per cm³). Això últim és particularment útil per a descriure la fracció més petita de PM ambiental, ja que la seva massa és molt petita mentre que el recompte de partícules pot ser més gran en diversos ordres de magnitud. S'ha proposat que s'haurien d'utilitzar les característiques del PM que reflecteixen més específicament la seva toxicitat, més que no pas la quantitat. Per exemple, alguns estudis van mesurar l'activitat redox del PM; aquesta característica pot servir com a indicació del potencial del PM per a induir un estrès oxidatiu. Aquest és un dels mecanismes a través dels quals hom creu que la contaminació atmosfèrica ambiental afecta diversos resultats en l'estat de salut.

Les categories esmentades també intenten reflectir l'origen i els processos de formació de les partícules. Mentre que les categories sovint se solapen, la següent afirmació es pot utilitzar com a regla general: les partícules grosses deriven principalment de la suspensió o resuspensió de pols, terra o altres materials de l'escorça provinents de les carreteres, l'agricultura, la mineria, les tempestes de vent o els volcans. Les partícules grosses també inclouen sals marines, pol·len, floridura, espores i altres materials biològics. Les partícules fines es deriven principalment d'emissions directes resultants de processos de combustió, com ara l'ús de gasolina i gasoil en vehicles, la crema de fusta, la crema de carbó per a generar energia i processos industrials com ara foses, plantes de ciment, fàbriques de paper i molins d'acer. Les partícules fines també consisteixen en productes de transformació, incloent-hi partícules de sulfat i nitrat, generades per conversió d'emissions primàries d'òxids de sofre i de nitrogen i aerosols secundaris de matèria orgànica a partir de les emissions de COV. Les partícules ultrafines són típiques emissions recents, procedents de fonts relacionades amb la combustió, com les reaccions produïdes als tubs d'escapament dels vehicles i les reaccions fotoquímiques atmosfèriques. Les partícules ultrafines primàries tenen una vida molt curta (de minuts a hores) i creixen ràpidament mitjançant mecanismes de coagulació i/o condensació per a formar agregats complexos més grans dins la fracció PM_{2.5}. Al llarg de les artèries de trànsit, les partícules ultrafines es consideren cada cop més com a marcadors d'exposició a gasos d'escapament recents.

Diversos estudis toxicològics amb éssers humans suggereixen que les partícules fines poden tenir un paper dominant en la salut humana. La seva toxicitat pot ser deguda a que contenen sulfats, nitrats, àcids i metalls. Els diversos productes químics adsorbits a les superfícies del PM poden ser rellevants en les fraccions de totes les mides. A diferència de les partícules més grans, les partícules contingudes a la fracció PM_{2.5} generalment arriben a les vies aèries petites i als alveòls. Les fraccions fines també romanen suspeses durant períodes de temps més llargs i, en conseqüència, són transportades a distàncies molt més grans i penetren més fàcilment en ambients interiors. Nous estudis també suggereixen que les partícules ultrafines poden ser més propenses que les partícules més grans a traslladar-se directament des del pulmó fins a la sang i altres parts del cos, essent possiblement per tant, rellevants per als resultats cardiovasculars. El paper i les fonts de les partícules grosses han estat menys investigats, però estudis més recents confirmen que també s'associen efectes adversos a aquesta fracció.

Requadre 4c

Tempestes de pols: no tan inofensives

Milers de milions de tones de pols del desert es mouen per l'atmosfera cada any. Les fonts principals en són les regions del Sàhara i el Sahel, regions del nord d'Àfrica i de Gobi i les regions Takla Makan d'Àsia.

La pols que arrossega el vent té un paper important en el cicle ecològic global. Per exemple, la pols del desert del Sàhara té un paper crucial a l'hora de fertilitzar grans extensions de l'oceà Atlàntic, ja que és rica en nitrogen, ferro i fòsfor.

No obstant això, el vent també dispersa quantitats significants de pols del desert cap a regions poblades. Les regions afectades experimenten un increment notable de les concentracions de pols a l'aire que pot durar diversos dies. En àrees com el sud d'Europa, els episodis de pols del Sàhara són un problema recurrent de la qualitat de l'aire, ja que els nivells de partícules els dies de pols excedeixen els nivells reglamentaris o recomanats. Si bé el reglament recentment adoptat a Europa per a valors diaris de PM10 exclou els dies en què els nivells excessius són resultat d'esdeveniments atmosfèrics naturals com ara les tempestes de pols, l'amenaça potencial d'aquesta pols per a la salut humana, sola o en combinació amb partícules antropogèniques, encara s'està debatent. S'ha observat que les partícules de pols estan carregades de fongs, virus i bacteris que poden actuar com a agents inflamatoris o al·lèrgics i alguns estudis de població han trobat una relació entre efectes sobre la salut i episodis de pols.

Els estudis de modelització indiquen que la quantitat de pols involucrada és suficient per a afectar també el clima. Mitjançant l'absorció i parcial reflexió de la llum solar, les partícules de pols escalfen l'aire però refresquen la superfície oceànica. Això estimula la formació de núvols, la qual cosa amplifica la reflexió de la llum de tornada cap a l'espai. Estudis recents demostren, però, que aquests núvols inhibeixen les precipitacions. La reducció de les precipitacions per part dels núvols afectats per la pols del desert pot ser la causa d'un sol més sec, que al seu torn aixeca més pols, provocant així la formació d'un bucle de retroalimentació que encara disminueix més les precipitacions i possiblement accelera el canvi climàtic. L'impacte de les tempestes de pols sobre el medi ambient i la salut pot ser més gran del que s'havia anticipat i mereix més atenció.

Requadre 4d

Contaminació atmosfèrica i canvi climàtic: una lluita comuna

Històricament, la contaminació atmosfèrica i el canvi climàtic han estat tractats com a problemes separats pels responsables polítics. Ara es reconeix que la contaminació atmosfèrica afecta els climes regional i mundial, directament i indirecta i que la majoria de les emissions de gasos d'efecte hivernacle estan vinculades a les emissions de contaminants atmosfèrics. Les fonts clau d'ambdós problemes se superposen àmpliament: la crema de combustibles fòssils en l'obtenció d'energia i la producció industrial, així com en el transport, és la responsable de la majoria de les emissions de diòxid de carboni i gran part de la contaminació atmosfèrica. D'aquesta manera, moltes estratègies per a retallar la combustió venen acompanyades d'attractius beneficis col·laterals (vegeu, a la taula 4d.1, alguns exemples de contaminants específics).

La majoria dels països desenvolupats han reduït algunes de les emissions de contaminants atmosfèrics mitjançant la millora de l'eficiència de la producció d'energia i, més recentment, mitjançant l'ús de tecnologies barates de control d'emissions a final de línia. La principal estratègia per a reduir les emissions de diòxid de carboni és la prevenció de les emissions. La prevenció es pot aconseguir mitjançant canvis estructurals en el sector de l'energia (eficiència millorada i energies renovables sense carboni) i mitjançant canvis en el comportament (fer servir menys energia). La reducció de l'ús de combustibles fòssils redreçaria tant el canvi climàtic com la contaminació atmosfèrica. El problema consisteix a desenvolupar polítiques per trobar una barreja de mesures final de línia, estructurals i de comportament que compleixin els objectius marcats per a la contaminació atmosfèrica i el canvi climàtic a un cost acceptable. La cooperació durant el procés de formulació de polítiques és particularment important, per tal de promoure polítiques sinèrgiques més que no pas de competició. Un exemple d'això últim és la promoció dels vehicles amb motor dièsel, basats en el seu superior rendiment en la utilització de combustible, independentment dels efectes adversos sobre la salut humana de les emissions de tub d'escapament del gasoil.

Una raó important addicional per a la integració de polítiques és escurçar el temps necessari perquè els beneficis es facin evidents. Alguns gasos d'efecte hivernacle, com el diòxid de carboni, romanen a l'atmosfera durant molt de temps. Per tant, les mesures per a reduir-ne les emissions només es començaran a notar passades unes quantes dècades. Al contrari, els beneficis col·laterals de concentracions reduïdes de contaminants atmosfèrics com el PM, l'ozó o el metà es tradueixen en beneficis per a la salut tant immediats com a llarg termini.

Taula 4d.1. Contaminants que actuen com a vincle entre el canvi climàtic i la contaminació atmosfèrica

Material	El material particulat té un paper important en l'escalfament global degut a la seva contribució a la formació de núvols. Per tant, les mesures per a reduir les emissions de partícules, per exemple de la combustió de gasoil, tindran beneficis dobles, protegint la salut humana a nivell local i també el clima a nivell regional i mundial.
Ozó	L'ozó troposfèric és un gas d'efecte hivernacle per si mateix, ja que inhibeix el procés mitjançant el qual les plantes contribueixen a captar el carboni de l'atmosfera; el carboni a l'atmosfera contribueix de manera significativa a l'escalfament global.
Metà	El metà, un gas emès per les activitats agrícoles i de gestió d'energia i residus, a més de ser un dels gasos d'efecte hivernacle del protocol de Kyoto, també contribueix a la formació d'ozó troposfèric. Les emissions de metà han augmentat molt ràpidament des de l'era preindustrial. La retallada d'aquestes emissions reduirà els nivells d'ozó nociu per a la salut i els ecosistemes i reduirà la magnitud del canvi climàtic.



5. COM SABEM EL QUE SABEM SOBRE LA SALUT?

Visió general dels mètodes utilitzats per a investigar els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut, amb els seus punts forts i les seves limitacions. Els mètodes d'investigació epidemiològica són essencials a fi de comprendre els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut.

La contaminació atmosfèrica és un dels problemes d'origen ambiental de major transcendència a per a la salut pública. Les polítiques d'aire net són, per tant, una eina molt important per a protegir la salut pública. L'evidència que els reglaments sobre la qualitat de l'aire protegeixen la salut pública es basa en una àmplia gamma de mètodes d'investigació interdisciplinaris. Les aproximacions experimental i epidemiològica proporcionen les dues eines més importants per a investigar els efectes de la contaminació ambiental sobre la salut.

ESTUDIS EXPERIMENTALS

Els estudis experimentals aporten informació crucial per a millorar la nostra comprensió dels mecanismes que condueixen a l'aparició de problemes de salut entre aquelles persones exposades a contaminants de l'aire. Els estudis experimentals proporcionen l'oportunitat d'exposar persones, animals, cultius cel·lulars i altres materials biològics a contaminants ben especificats sota condicions controlades. Els mètodes, així com els nivells d'exposició, poden ser totalment estandarditzats. Els estudis amb humans sovint es duen a terme sota diferents nivells d'activitat física per tal de modificar-ne la dosi i amb diverses concentracions de contaminants. Per tal d'avaluar-ne els efectes sobre la salut, en aquests estudis es poden fer servir símptomes, paràmetres fisiològics i funcionals i marcadors a la sang o a l'orina. Els experiments poden ser dissenyats per a centrar-se en l'estudi d'aspectes específics dels complexos mecanismes que vinculen la contaminació atmosfèrica amb la salut. Per exemple:

- Una sèrie d'experiments se centren en la capacitat de les partícules ambientals per a induir cicles redox, confirmant la contribució del PM a l'estrès oxidatiu com a mecanisme rellevant per a una àmplia gamma d'efectes sobre la salut [7].
- La nova hipòtesi sobre el paper aterogènic de la contaminació atmosfèrica ha estat investigat inicialment en animals, més que no pas en persones. Aquests estudis han revelat que els conills, ratolins o rates exposats de manera crònica a partícules ambientals concentrades desenvolupen aterosclerosi [8].
- En un estudi en cambra d'expansió en humans es va observar major inflamació al·lèrgica entre els subjectes sensibilitzats exposats a al·lèrgens i partícules de gasoil que entre aquells que havien estat exposats només a al·lèrgens. L'efecte adjuvant de les partícules de gasoil va ser particularment marcat entre subjectes amb una deficiència en dos gens rellevants per a la defensa antioxidant a les vies respiratòries, les glutatió transferases GSTM i GSTP [9].

Malgrat l'avantatge de les exposicions controlades, els estudis experimentals tenen limitacions o desavantatges comparats amb els estudis epidemiològics. Aquests estudis estan restringits a l'examen dels efectes de contaminants específics o, com a molt, combinacions de dos contaminants, mentre que la contaminació ambiental comprèn una mescla molt més complexa. L'ús de partícules urbanes en estudis amb animals és un important nou intent d'imitar les condicions del món real en un entorn d'experimentació.

Les dades experimentals obtingudes a partir dels estudis amb animals no poden ser generalitzades als éssers humans i els estudis duts a terme amb adults joves i sans que són els que per norma general participen en estudis en cambra amb humans no es poden generalitzar als grups potencialment més susceptibles, com són els nonats, els nens i els adolescents o les persones amb malalties greus. La limitació més important de l'aproximació experimental és la incapacitat d'investigar apropiadament els efectes crònics sobre la salut d'exposicions, a llarg termini o durant tota la vida, als contaminants atmosfèrics. L'únic mètode fiable per a investigar els efectes esmentats en els éssers humans és l'epidemiologia. El mateix és vàlid per a les investigacions dels efectes molt severos de la contaminació atmosfèrica, com ara la mort o morbiditats agudes que requereixen hospitalitzacions o visites a urgències.

ESTUDIS EPIDEMIOLÒGICS

Els estudis observacionals es poden dur a terme en la població general així com en grups seleccionats. En contrast amb els estudis experimentals, les investigacions epidemiològiques poden abordar els efectes de la contaminació atmosfèrica a través d'una gamma molt àmplia de resultats i poden ser dissenyades per a tractar els efectes aguts, subaguts i crònics de la contaminació per igual. A més, els enfocaments epidemiològics són molt versàtils a l'hora d'identificar subgrups amb susceptibilitat disminuïda o incrementada als efectes adversos de la contaminació atmosfèrica. Per exemple, un assaig controlat ha demostrat que els nens mexicans amb un consum elevat d'antioxidants estan protegits contra els efectes adversos dels contaminants atmosfèrics oxidants sobre la funció pulmonar [10]. Un estudi recent també ha demostrat que l'exposició a la contaminació atmosfèrica derivada del trànsit té més efecte sobre els supervivents d'un infart de miocardi que sobre la població en general [11].

Cap de les malalties que s'han relacionat amb la contaminació atmosfèrica són específiques de l'exposició a la mateixa: molts altres factors poden causar o contribuir a problemes de salut similars o idèntics. La llista d'efectes sobre la salut atribuïts a la contaminació atmosfèrica té molt en comú amb els descrits per a fumadors i fumadors passius. A més a més, les variacions a curt termini en la contaminació de l'aire no són l'única causa de fluctuacions diàries en els problemes de salut (síntomes, visites al metge, admissions a l'hospital, mort, etc.) ja que molts altres factors rellevants varien també diàriament (p.ex. la temperatura o altres factors meteorològics).

Com a conseqüència, els estudis epidemiològics han de controlar rigorosament altres factors de risc importants. Els estudis que no siguin capaços de controlar les variables de confusió —com les comparacions purament ecològiques de freqüències de malaltia entre unes poques comunitats amb diferents nivells de contaminació— no s'haurien d'utilitzar per a avaluar les conseqüències de la contaminació atmosfèrica sobre la salut. Els requadres 5a i 5b descriuen alguns dissenys clau d'estudis utilitzats en la investigació de la contaminació atmosfèrica.

El risc calculat dels estudis epidemiològics s'expressa generalment en termes relatius, és a dir, com a risc relatiu (RR) o com a odds (OR). L'exposició a la contaminació atmosfèrica pot ser quantificada en una escala contínua: en la majoria dels casos, tots els participants en l'estudi són exposats en major o menor grau. Per tant, els RR no venen expressats en general per “exposats” *versus* “no exposats” sinó per algunes unitats de contaminant escollides arbitràriament. Per exemple, l'associació entre canvis diaris en els nivells ambientals de PM_{2.5} i mortalitat diària sovint es reporta per a un canvi de 10 µg·m⁻³ a PM_{2.5}, però també s'usen freqüentment altres escales. És essencial conèixer les escales utilitzades quan es comparen els resultats d'un estudi amb els riscos.

Degut a les causes multifactorials de morbiditats i mortalitat, cal esperar que els RR associats a factors individuals siguin més aviat baixos. Això és cert tant per a les causes exògenes com endògenes de malalties complexes. Per exemple, l'associació més forta (és a dir el major RR) entre un gen i l'asma, com es va observar en un estudi d'associació del genoma complet, només va arribar a 1,88: el risc relatiu degut a qualsevol altre gen sembla ser molt més petit [12]. En conseqüència, s'espera que les associacions entre la contaminació atmosfèrica i els fenotips complexos també siguin “petites”: generalment més petites que les observades pel tabac, l'exposició de quins contaminants (alguns essent els mateixos que es troben a l'aire) és normalment molt més gran que la dels contaminants de l'aire en no fumadors. Un estudi de cohorts neerlandès va informar d'un risc de mort per problemes cardiopulmonars 3,4 vegades més gran entre els fumadors que consumeixen 20 cigarrets al dia durant 25 anys en comparació amb els no fumadors; en canvi, el risc de mort per problemes cardiopulmonars entre les persones que viuen a prop de carreteres amb gran intensitat de trànsit, on els contaminants vinculats al trànsit arriben a concentracions molt més elevades que a major distància, estava per sota de 2,0 [13]. Per regla general, els efectes aguts de la contaminació atmosfèrica

són particularment petits. Un gran nombre d'estudis, per exemple, indica que un increment diari de 10 µg·m⁻³ en la fracció PM_{2.5} a l'ambient està associat a un increment de la mortalitat diària de 0,5-1,0%, que es correspon amb un petit, però molt significatiu i rellevant, RR de 1,005-1,01.

Sota condicions reals els contrastos, tant temporals com espacials, en l'exposició a la contaminació atmosfèrica són limitats: la diferència entre el nivell més baix i el més alt de contaminació atmosfèrica és sovint menys del triple i els subjectes “no exposats” no existeixen. Aquesta és una situació totalment diferent de la que ens trobem en la investigació sobre el tabac, en la qual hi ha molts no fumadors i els fumadors empedreïts poden patir una exposició de 10 a 20 vegades més elevada que la dels fumadors ocasionals. Els coeficients de risc entre grups de persones exposades a diferents nivells de contaminació atmosfèrica poden, per tant, ser molt més petits que els que s'observen entre fumadors i no fumadors. A fi de descriure i quantificar adequadament aquests “petits” efectes de la contaminació atmosfèrica doncs, és necessari no només un bon control dels factors de confusió, sinó també, en la majoria dels casos, poblacions molt nombroses. Per exemple, l'estudi de cohorts més gran realitzat fins al dia d'avui en la investigació sobre la contaminació atmosfèrica —l'estudi de la Societat Americana del Càncer— relaciona 500.000 individus, als quals es va fer un seguiment durant 16 anys, amb dades sobre contaminació atmosfèrica. La gamma de concentracions mitjanes de PM_{2.5} a llarg termini en diferents comunitats, des del valor més baix fins al més alt, només arribava fins al triple del valor més baix i el risc de mort durant el seguiment variava en un 10-15% dins d'aquest marge (és a dir, els RR oscil·laven entre l'1,10 i l'1,15). Com calia esperar, els fumadors empedreïts —en comparació amb els no fumadors— tenien un risc de mort més alt durant el seguiment, amb un RR per sobre de 2,0. Degut a la gran mida de la mostra, les conclusions relatives a la contaminació atmosfèrica eren precises i clarament significatives des d'un punt de vista estadístic.

Els estudis d'intervenció —l'estàndard d'or en la medicina basada en l'evidència— no són freqüents en la investigació de la contaminació atmosfèrica, ja que és difícil assignar l'exposició i tenir subjectes ‘no exposats’. No obstant això, basant-se en dissenys de cohorts o en dissenys transversals, alguns estudis han estat capaços d'investigar canvis en els paràmetres de salut produïts com a conseqüència de canvis en la qualitat de l'aire impulsats per les regulacions o causats per un canvi de domicili. Aquests estudis tenen gran rellevància per als responsables polítics i es tractaran més àmpliament en el capítol 7.

Requadre 5a

Estudis epidemiològics per a investigar els efectes aguts de la contaminació atmosfèrica

Les concentracions de la contaminació atmosfèrica varien cada dia o fins i tot cada hora, degut principalment a la forta influència de les condicions meteorològiques sobre la dispersió i l'acumulació. Aquesta variabilitat proporciona una oportunitat d'investigar els efectes aguts de la contaminació atmosfèrica sobre els canvis a curt termini en la salut (fig. 5a.1). Centenars d'estudis han investigat l'associació entre els canvis diaris en la qualitat de l'aire i la freqüència d'una sèrie d'esdeveniments com ara arítmies, infarts de miocardi, accidents cerebrovasculars, símptomes respiratoris, visites al metge, admissions hospitalàries o la mort. D'altres s'han centrat en els canvis patits per marcadors subclínicis fisiològics o funcionals de salut, com la funció pulmonar o els marcadors d'inflamació en la sang. Si altres factors variables, com les condicions meteorològiques i el dia de la setmana, es controlen adequadament durant les anàlisis, aquests estudis són eines molt poderoses i eficients per a la investigació dels efectes aguts de la contaminació atmosfèrica. El fet que altres característiques individuals (hàbit tabàquic, malalties, factors genètics, etc.) no distorsionen l'associació entre la contaminació atmosfèrica i els efectes aguts sobre la salut (ja que aquests cofactors no varien de dia a dia) és comú als dissenys d'estudis d'efectes aguts que s'enumeren a continuació. A més, tant en estudis creuats com de panel, els subjectes s'utilitzen com el seu propi control.

- Les anàlisis de *sèries temporals* són el mètode usat més freqüentment per a explorar estadísticament les associacions a curt termini entre les dades sobre contaminació atmosfèrica diària i les freqüències d'esdeveniments (mort, admissions hospitalàries, etc.). Aquests estudis sovint es poden basar en dades habitualment disponibles sobre la contaminació atmosfèrica i el registre sanitari. Són particularment valuosos els estudis que incorporen dades de moltes ciutats analitzades fent servir el mateix protocol. La repetició d'aquestes anàlisis de sèries temporals permet que es puguin monitorar els canvis al llarg del temps entre contaminació i salut. Per exemple, una investigació neerlandesa va monitorar l'associació entre les concentracions ambientals de fum negre i el nombre de morts diàries durant un període de 34 anys. L'associació va romandre significativa i força estable des de 1972 fins a 2006, malgrat una disminució en els nivells absoluts de fum negre i altres canvis en la qualitat de l'aire.
- Els *estudis creuats* són una variant útil del mètode de les sèries temporals. Els nivells de contaminació durant o abans d'un esdeveniment enregistrat (p. ex. una mort o un atac de cor) es comparen amb els nivell d'un "dia de control" seleccionat. Sota la hipòtesi nul·la, la qualitat de l'aire no hauria de diferir entre el dia de l'esdeveniment i el dia de control.
- Els *estudis panel* són particularment eficaços per a la investigació d'efectes aguts entre grups (o panels) de persones seleccionades amb molta cura (p. ex. asmàtics o pacients amb antecedents d'un atac de cor). Als participants en els estudis panel se'ls demana de proporcionar repetidament dades sobre la seva salut (mesuraments diaris de capacitat vital, anàlisis repetides de marcadors sanguinis, etc.). Sota la hipòtesi nul·la, els canvis diaris en la qualitat de l'aire no haurien d'estar associats a fluctuacions diàries de l'estat de salut.

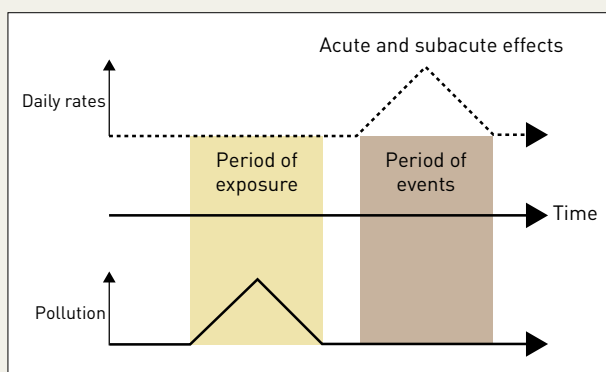


Figura 5a.1. Esquema de la representació dels estudis epidemiològics a curt termini sobre la contaminació atmosfèrica. Els estudis a curt termini intenten trobar associacions entre els canvis en les concentracions enregistrades durant un període de temps i els canvis en els resultats el mateix dia o uns dies després de l'exposició. Modificat a partir de [14].

Requadre 5b

Estudis epidemiològics per a la investigació dels efectes a llarg termini

Per tal d'investigar les conseqüències a llarg termini d'exposicions continuades o repetides (i sovint de per vida) a la contaminació atmosfèrica, calen dissenys d'estudis específics. L'exposició a llarg termini a la contaminació atmosfèrica és diferent entre les persones degut a contrastos espacials, més que no pas temporals, en la qualitat de l'aire. Així, els estudis a llarg termini necessiten involucrar gent que visqui a llocs amb diferents nivells mitjans de contaminació atmosfèrica, donant com a resultat estudis de ciutats o comunitats múltiples, tals com l'estudi de salut de nens del Sud de Califòrnia, realitzat sobre 12 comunitats o l'estudi suís SAPALDIA, amb 8 ciutats. En contrast amb els estudis dels efectes aguts, el focus de la investigació dels efectes a llarg termini se situa sobre les condicions patològiques preclíniques o clíniques (p. ex. calcificació de les artèries), estats funcionals (p. ex. funció pulmonar), prevalença de malalties cròniques (p. ex. malaltia pulmonar obstructiva crònica [MPOC]), o esperança de vida més que no pas sobre "esdeveniments" com ara hospitalitzacions, infarts de miocardi, accidents cerebrovasculars o la mort.

Els models d'estudi més utilitzats en la investigació dels efectes crònics són els estudis de cohorts i els estudis transversals (fig. 5b.1). Els estudis de cohorts són l'estàndard d'or per a la recerca en la nova aparició de malalties cròniques o els canvis en les condicions de salut amb el pas del temps en relació amb la contaminació atmosfèrica. Els estudis transversals són particularment informatius quan s'estudia la prevalença de malalties cròniques o nivells funcionals (p. ex. la funció pulmonar) mesurats en un moment puntual en relació amb una exposició anterior a la contaminació atmosfèrica.

La caracterització de l'exposició a llarg termini a la contaminació atmosfèrica constitueix un gran desafiament comú a tots aquests estudis. Sovint, l'exposició en les comunitats s'ha definit tan sols amb dades provinents d'uns pocs —o fins i tot un de sol— monitors en un lloc fix. Això només és vàlid per a comunitats petites i per a contaminants amb poca variació espacial (p. ex. l'ozó). No obstant això, els contaminants com ara els originats pel trànsit poden variar de manera substancial entre comunitats i depenen de la proximitat a artèries de trànsit (vegeu el requadre 6b). Així, l'estàndard d'or actual d'avaluació de l'exposició requereix la caracterització dels nivells de contaminants locals (més freqüentment residencials). Per tal d'assolir aquest objectiu, els estudis combinen mesuraments locals amb tècniques de modelització per a cartografiar la distribució espacial dels contaminants. La geocodificació de les residències o llocs de treball permet una avaluació individual de l'exposició, i té com a resultat investigacions dels efectes crònics altament eficaces. Una important iniciativa del 7è Programa Marc de Recerca i Desenvolupament Tecnològic de la Unió Europea és el finançament de la col·laboració ESCAPE (www.escapeproject.eu). El projecte cartografia la distribució espacial dels contaminants relacionats amb el trànsit a tot Europa. Els participants de més de 30 estudis de cohorts existents a Europa seran vinculats amb aquestes dades sobre l'exposició amb la finalitat d'investigar els efectes a llarg termini de la contaminació atmosfèrica relacionada amb el trànsit sobre una àmplia gamma de malalties cròniques i sobre l'esperança de vida.

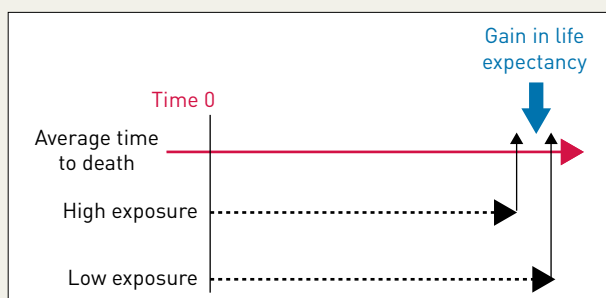


Figura 5b.1. Esquema de la representació dels estudis epidemiològics a llarg termini sobre la contaminació atmosfèrica. Els estudis de cohorts segueixen una població a través del temps i en comparen els resultats (p. ex. temps de supervivència) entre les persones amb diferents nivells d'exposició (vegeu requadre 8a).



6. LA SALUT ESTÀ EN JOC

Principals efectes sobre la salut associats amb nivells actuals de contaminació atmosfèrica

El desembre de 1952, milers de persones van morir a Londres, Regne Unit, com a conseqüència d'una inversió tèrmica que va durar diversos dies, atrapant fum procedent de la crema de carbó a les llars de foc. Aquest esdeveniment va proporcionar algunes de les primeres proves que la contaminació atmosfèrica pot estar relacionada amb estats de salut adversos. Des d'aleshores, nombrosos estudis epidemiològics han confirmat que l'exposició a curt termini a la contaminació atmosfèrica està associada amb la morbiditat i la mortalitat (vegeu requadre 6a). Més recentment, alguns estudis epidemiològics sobre l'exposició crònica a la contaminació atmosfèrica, també han descrit associacions amb diversos estats de salut. Fins a la dècada de 1990, els estudis de població se centraven sobretot en la salut respiratòria, ja que les vies respiratòries són la porta d'entrada principal de la contaminació al cos humà. A mesura que s'aprofundia en el coneixement dels efectes sistèmics de la contaminació, els dissenyadors d'estudis epidemiològics i experimentals van començar a adonar-se que la contaminació també afecta el sistema cardiovascular. Tot i que l'evidència d'una associació causal entre la contaminació atmosfèrica i alguns resultats és encara feble, la millora en les metodologies d'investigació significa que la llista dels efectes de la contaminació atmosfèrica creix, malauradament, de manera contínua (taula 6.1).

En aquest capítol es presenta un resum dels coneixements actuals sobre els efectes aguts i crònics de la contaminació atmosfèrica urbana, derivats dels estudis epidemiològics. (Per a una descripció més àmplia dels mecanismes generals que relacionen els contaminants amb els efectes sobre la salut i més detalls sobre els efectes d'alguns contaminants específics importants, vegeu l'annex 1). Val la pena subratllar una vegada més que, probablement, els efectes de la contaminació sobre la salut són causats per una gamma de diversos contaminants, més que no pas per components individuals de la mescla.

Taula 6.1. Resultats en la salut per als quals existeix, com a mínim, alguna evidència de la seva associació amb la contaminació atmosfèrica

Efectes aguts

Mortalitat diària
 Admissions hospitalàries per motius respiratoris
 Admissions hospitalàries per motius cardiovasculars
 Visites a urgències per problemes respiratoris i cardíacs
 Visites d'atenció primària per problemes respiratoris i cardíacs
 Ús de medicació respiratòria i cardiovascular
 Dies d'activitat restringida
 Absentisme laboral
 Dies d'escola perduts
 Automedicació
 Canvis de comportament
 Síntomes aguts
 Canvis fisiològics, p. ex. en la funció pulmonar

Efectes crònics

Mortalitat per patologia cardiorespiratòria crònica
 Incidència i prevalença de malalties respiratòries cròniques (asma, MPOC)
 Canvis en la funció fisiològica (p. ex. la funció pulmonar)
 Càncer de pulmó
 Malaltia cardiovascular crònica

Altres efectes

Baix pes en néixer
 Part prematur
 Afectació adversa del desenvolupament cognitiu dels infants

EFFECTES A CURT TERMINI

Un gran nombre d'estudis epidemiològics han demostrat que la mortalitat diària, deguda principalment a patologies cardiovasculars i respiratòries, segueix la fluctuació diària de la contaminació atmosfèrica. A la fonamental anàlisi de sèries temporals en múltiples ciutats APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach), duta a terme en 29 centres d'estudi (la majoria europeus), es detectà un augment del nombre de morts per malaltia del 0,6% per a increments de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de la concentració de PM10 (mitjana en el dia de la mort *versus* el dia abans). El nombre de morts per malalties cardiovasculars va augmentar en un 0,7%. Aquests resultats són similars als d'una metanàlisi realitzada prèviament per encàrrec de l'OMS, que va detectar la mateixa mida de l'efecte per a la mortalitat total i lleugerament superior per a morts degudes a patologies cardiovasculars (0,6% i 0,9% respectivament, per a un increment de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de la concentració de PM10). Encara que el RR és més elevat per a la mortalitat respiratòria, moren més persones per malalties cardiovasculars, cosa que suggereix que l'impacte de la contaminació atmosfèrica sobre el sistema cardiovascular és molt gran.

La variació diària de la càrrega de malaltia deguda a la contaminació atmosfèrica urbana també es fa palesa pels increments en el nombre de visites d'urgències i admissions hospitalàries per malalties cardiovasculars, accidents cerebrovasculars i malalties respiratòries, incloent-hi l'asma. APHEA va constatar un augment en les admissions hospitalàries per problemes cardíacs del 0,7% per a increments de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en la concentració de PM10. Els augments van ser de: 1,2% per a l'asma infantil; 1,1% per a l'asma en adults de fins a 64 anys; i 0,9% per a totes les malalties respiratòries (incloent-hi la MPOC, asma i d'altres) en persones grans.

Tal com es descriu al requadre 6b, no totes les persones resulten afectades de la mateixa manera per la contaminació atmosfèrica. Els pacients amb asma, especialment els nens sense tractament antiinflamatori o broncodilatador, pateixen més durant o després dels dies amb nivells de contaminació més alts. Degut a la gran variació individual del dia a dia, amb molts factors concomitants d'influència, els efectes sobre les persones asmàtiques no es poden demostrar fàcilment sense un estricte control d'adhesió al protocol de l'estudi i avaluacions individualitzades de les exposicions. No obstant això, en els estudis panel realitzats amb asmàtics fent servir aquests mètodes tan rigorosos s'ha detectat un augment de les sibilàncies, tos i atacs de dispnea,

acompanyats d'una funció pulmonar disminuïda i la necessitat de tractament simptomàtic addicional, associat amb variacions diàries en els nivells de PM i NO₂.

S'han observat de manera consistent en estudis epidemiològics els efectes aguts de l'ozó sobre els individus. El requadre 6b proporciona informació específica sobre els problemes de salut causats per aquest contaminant en particular.

CONSEQÜÈNCIES DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA A LLARG TERMINI

Com es va discutir en el capítol 5, l'exposició a llarg termini o de per vida als contaminants atmosfèrics no només pot ocasionar greus problemes de salut, sinó també contribuir a patologies que, finalment, condueixen a l'aparició de malalties cròniques. La investigació d'aquests efectes requereix normalment d'estudis extensos i de molt de temps; per aquesta raó, l'evidència disponible actualment sobre els efectes de la contaminació atmosfèrica a llarg termini es basa en un nombre d'estudis menor que la que

posseïm sobre els efectes aguts. Malgrat això, durant els últims 10 anys, molts estudis han confirmat els efectes adversos de fins i tot nivells moderats de contaminació atmosfèrica.

CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA I ESPERANÇA DE VIDA

Mentre que la mort és, en si mateix, un episodi agut, l'esperança de vida o el temps de supervivència són el resultat de patologies tant cròniques com agudes. Degut als coneguts efectes aguts de la contaminació atmosfèrica sobre la mortalitat i la interrelació entre patologies agudes i cròniques, és impossible diferenciar i assignar de manera clarificadora els efectes aguts i crònics de la contaminació atmosfèrica sobre la mortalitat. Els estudis de cohorts, en canvi, sí que mesuren —per defecte— el temps de supervivència, contribuint així de manera important a augmentar el nostre nivell de comprensió dels efectes crònics de la contaminació atmosfèrica. Estudis duts a terme a Europa, EUA i el Canadà confirmen que els efectes globals

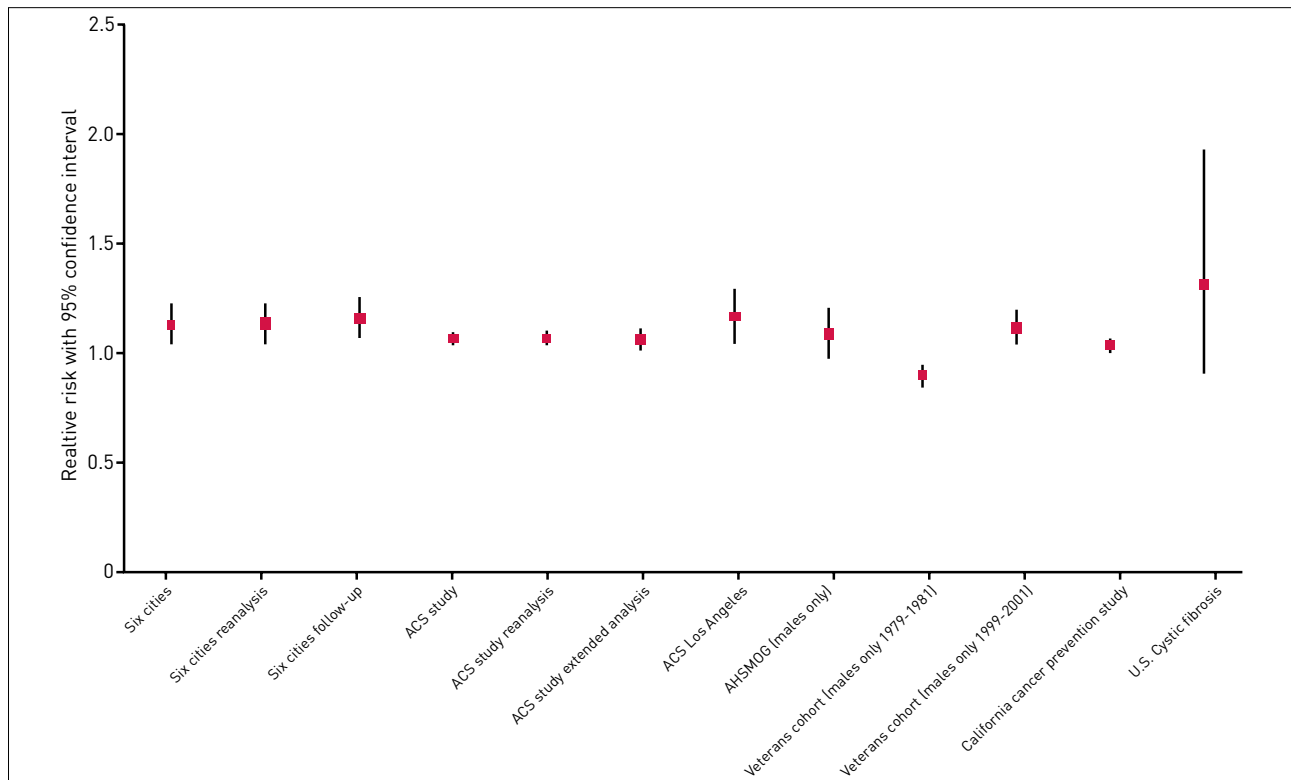


Figura 6.1. Estimacions del risc relatiu (amb interval de confiança del 95%) per a les associacions entre l'exposició a llarg termini a PM_{2.5} (per a 10 µg·m⁻³) i la mortalitat en els principals estudis de cohorts duts a terme a Nord-Amèrica. La figura presenta només el nom comú de l'estudi. Es pot trobar més informació sobre aquests estudis a [15, 16].

Requadre 6a

La piràmide dels efectes aguts sobre la salut: evidència d'una relació de causalitat

En qualsevol població donada, s'espera que la susceptibilitat als efectes adversos de la contaminació atmosfèrica (o a qualsevol altra amenaça per a la salut) difereixin àmpliament entre les persones i —a la mateixa persona— amb el pas del temps. Per exemple, mentre que la “gent sana” (i per tant menys sensible) pot no experimentar cap símptoma o només canvis clínicament irrelevants, una exposició similar pot desencadenar greus exacerbacions de problemes de salut entre els més febles. De manera similar, alguns asmàtics poden patir atacs quan la contaminació atmosfèrica augmenta, mentre que d'altres romanen estables.

L'epidemiologia de la contaminació atmosfèrica ha fet servir aquest patró de susceptibilitat i gravetat variables a l'hora d'investigar les associacions entre la contaminació i l'ampli espectre de resultats en l'estat de salut, que van des de canvis de menor importància (*p.ex.* algun marcador de la sang) fins a la mort. Aquest paradigma està representat a la figura 6a-1. La piràmide també mostra clarament que el nombre de persones afectades pels efectes més extrems és molt més petit que el d'aquelles persones afectades per resultats de salut menys greus. Això ha estat confirmat en moltes avaluacions de l'impacte de la contaminació atmosfèrica sobre la salut. La coherència dels resultats observats a través d'aquesta àmplia gamma de resultats interrelacionats proporciona un argument de molt de pes per a defensar el paper causal de la contaminació sobre la salut pública.

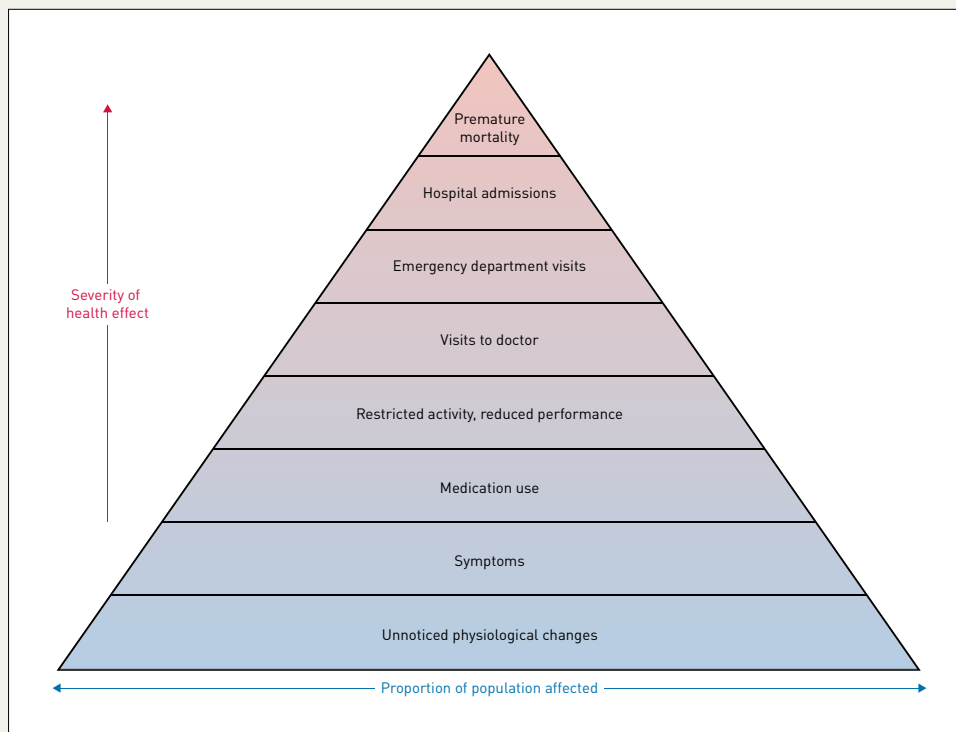


Figura 6a.1. Piràmide dels efectes sobre la salut associats amb la contaminació atmosfèrica [21].

Requadre 6b

No tots som iguals. Qüestions de susceptibilitat

No tots els fumadors pateixen malalties relacionades amb el tabac i no tothom resulta afectat per la contaminació atmosfèrica. Identificar els factors de susceptibilitat és una tasca més difícil. Mentre alguns factors modifiquen el nivell d'exposició, altres característiques poden determinar com un individu resultarà afectat per l'exposició a la contaminació atmosfèrica. L'augment de la freqüència respiratòria durant l'activitat física resulta en una major exposició als contaminants. Depenent del lloc on desenvolupi l'activitat física, l'individu potser haurà d'escollir entre els beneficis de l'activitat física i una major exposició a substàncies tòxiques.

Actualment s'estan investigant una sèrie de factors de susceptibilitat i ja es poden descriure alguns patrons preliminars:

- Com a regla general, els nens resulten més afectats degut a la seva freqüència respiratòria i rendiment metabòlic relativament més alts durant la infància i l'adolescència. No obstant això, no tots els nens resulten afectats de la mateixa manera i, per tant, els temes següents també s'apliquen als nens.
- Les malalties preexistents poden determinar el grau de susceptibilitat. Això està particularment ben estudiat per als efectes aguts de la contaminació atmosfèrica: la contaminació atmosfèrica pot causar exacerbacions entre pacients amb asma o MPOC. Els subjectes amb cardiopaties o aterosclerosi poden patir un atac cardíac o un accident cerebrovascular després de l'exposició a la contaminació atmosfèrica. Alguns estudis han demostrat que els diabètics es veuen més afectats pels efectes cardiovasculars aguts de la contaminació atmosfèrica.
- Qualsevol factor implicat en els mecanismes de la morbiditat i la mortalitat relacionades amb la contaminació atmosfèrica és un factor determinant potencial de susceptibilitat. En primer lloc hi ha els factors genètics, per exemple, els involucrats en l'estrès oxidatiu i la inflamació sistèmica. Algunes troballes suggereixen que les deficiències genètiques en la destoxicació dels xenobiòtics —p. ex. la variant nul de glutatió-S-transferasa Mu 1— amplifiquen els efectes adversos de la contaminació atmosfèrica.
- El consum d'antioxidants també ha estat implicat com a factor de susceptibilitat: els nens amb una major ingesta d'antioxidants semblen estar més ben protegits contra els efectes oxidants de l'ozó i altres contaminants ambientals.
- Inflamació subclínica sistèmica: si bé l'evidència encara no s'ha confirmat, podria considerar-se que els subjectes en un estat d'inflamació subclínica crònica estan més afectats pels efectes inflamatoris de la contaminació atmosfèrica. Per exemple, els estudis experimentals indiquen que l'obesitat i la diabetis estan associades amb efectes més severos dels contaminants ambientals.
- Les interaccions potencials entre el tractament mèdic i els efectes de la contaminació atmosfèrica s'ha de tenir en compte. Un estudi va informar que les associacions entre la contaminació atmosfèrica i la variabilitat de la freqüència cardíaca no s'observen en pacients als quals s'han receptat estatines. Els asmàtics ben controlats és probable que siguin menys afectats pels efectes adversos dels contaminants atmosfèrics sobre les vies respiratòries (vegeu el capítol 9).

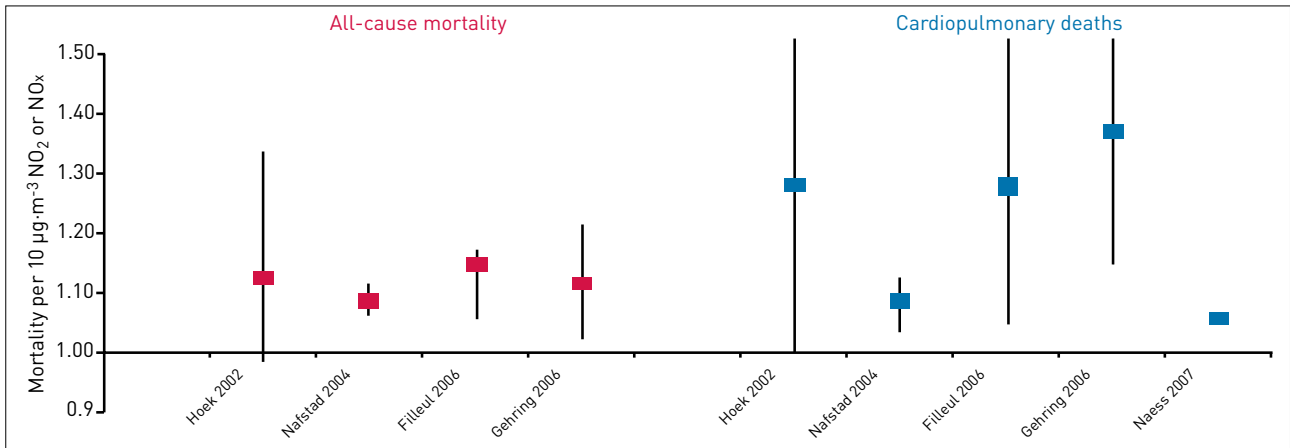


Figura 6.2. Riscs relatius amb interval de confiança del 95% d'estudis de cohort europeus sobre contaminació atmosfèrica i mortalitat, expressats per a 10 µg·m⁻³ de NO₂ o NO_x [17].

de la contaminació sobre la mortalitat són molt superiors als de la fracció a la que s'atribueixen les exposicions agudes.

En els estudis apidemiològics sobre la mortalitat, les malalties respiratòries són la causa de la mort amb menys freqüència que les malalties cardiovasculars. Per tant, totes dues es combinen sovint en la categoria de mortalitat cardiopulmonar. La mortalitat cardiopulmonar es va associar amb diferències a llarg termini en les concentracions de PM i sulfat entre ciutats en el famós estudi Harvard de les sis ciutats i en l'estudi de la Societat Americana del Càncer (SAC). La comparació de concentracions a nivell comunitari de PM fi amb taxes de mortalitat entre més de 500.000 participants en l'estudi SAC va mostrar un increment del 6% de la mortalitat cardiopulmonar 16 anys després per a 10 µg·m⁻³ de PM_{2.5}. L'estimació de la mortalitat total va ser del 4%. En una nova anàlisi de 18 anys de seguiment de l'estudi SAC des de l'àrea de Los Angeles, es va assignar a cada residència un model d'exposició a PM_{2.5}. Aquesta assignació millorada va donar com a resultat unes estimacions més altes. La mortalitat cardiopulmonar va augmentar en un 20%, i les morts degudes a cardiopaties isquèmiques en un 49% per a un increment de 10 µg·m⁻³ de PM_{2.5}. Als EUA s'han dut a terme molts altres estudis de cohorts que mostren un vincle amb la mortalitat.

Els estudis de cohorts a Europa han pogut confirmar la relació entre risc de mort cardiopulmonar i contaminació. Tres estudis europeus diferents van ser capaços d'analitzar les dades per a les mortalitats respiratòria i cardiovascular per separat. Els resultats van mostrar que la contaminació atmosfèrica urbana, avaluada individualment per a tots els participants mitjançant la modelització d'emissions de NO_x procedents del trànsit, estava associada amb la mortalitat global, la mortalitat per cardiopaties

isquèmiques, la mortalitat respiratòria, la mortalitat per càncer de pulmó i, encara que de manera feble, també amb la mortalitat cerebrovascular. Però no a tots els estudis de cohorts s'han trobat efectes consistents sobre la mortalitat cardiovascular. Un estudi de cohorts holandès sobre la nutrició i el càncer amb dades sobre exposició de més de 20 anys només va observar relacions no significatives entre morts cardiovasculars i NO₂ o fum negre, i una associació feble entre mort cardiopulmonar i densitat de trànsit a la carretera principal més propera. Contràriament, les morts respiratòries es van relacionar amb el NO₂, el fum negre, la densitat del trànsit en un radi de 100 m i el fet de viure a prop d'un carrer principal.

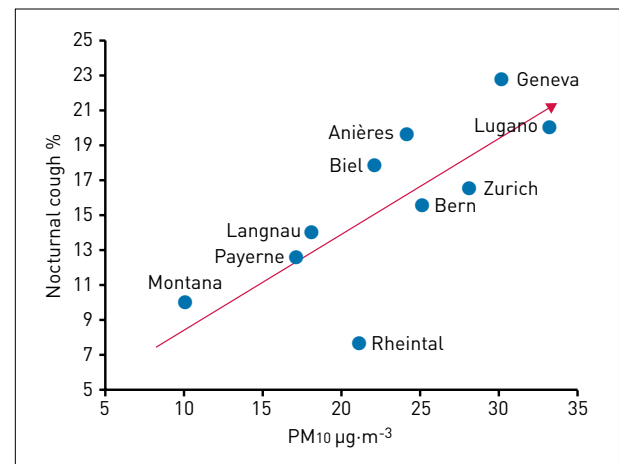


Figura 6.3. Prevalença de tos nocturna i mitjana comunitària anual dels nivells de PM10 en l'estudi suís sobre nens en edat escolar SCARPOL [18]. La fletxa indica prevalències més altes en comunitats amb nivells de PM10 més elevats.

SALUT RESPIRATÒRIA EN NENS

Els efectes a llarg termini sobre el sistema respiratori s'investiguen sovint en nens, ja que són més susceptibles als efectes de la contaminació atmosfèrica que els adults, per diverses raons. Els nens són més actius i realitzen més activitats a l'aire lliure. Respiren més ràpidament que els adults i la seva taxa metabòlica és més alta. Els sistemes immunes dels nens no estan del tot desenvolupats, per tant la incidència d'infeccions respiratòries és elevada. Els pulmons encara estan creixent i qualsevol dèficit en el creixement serà rellevant per a tota la vida del nen. A més, en els nens estan absents en gran mesura, factors de confusió o de modificació com ara el tabaquisme actiu, l'exposició ocupacional a la pols i el fum o els tractaments mèdics de malalties. Són de particular interès i rellevància les investigacions sobre el desenvolupament de la funció pulmonar en nens i la incidència d'asma — la malaltia crònica més important en nens—.

Diversos estudis transversals d'Alemanya, Suïssa, França i els EUA van constatar, ja en la dècada de 1980, que els nens en edat escolar o preescolar a les comunitats exposades a nivells més alts de pols, SO₂ i NO₂ patien més de tos i bronquitis aguda que no pas els nens d'altres regions menys contaminades.

Més recentment, molts estudis transversals han informat de volums pulmonars reduïts en nens que viuen a zones més contaminades. Mentre que les exacerbacions de l'asma estan clarament relacionades amb la qualitat de l'aire, les comparacions geogràfiques de la prevalença d'asma o al·lèrgies no segueix els gradients dels nivells de contaminants en un context urbà, p. ex. de PM_{2.5} o PM₁₀. Els nous mètodes integren ara mesuraments locals de contaminants relacionats amb el trànsit, sistemes d'informació geogràfica, dades d'ús del sòl i tècniques de modelització espacial per a la caracterització de la distribució intracomunitària dels contaminants relacionats amb el trànsit. Aquests darrers estan pobrament caracteritzats pels monitors urbans i la gent que viu al costat de carreteres de molt de trànsit pot experimentar exposicions a contaminants relacionats amb el trànsit diverses vegades més elevades que la gent que viu uns 50-100 m més lluny (vegeu requadre 6d).

SALUT RESPIRATÒRIA EN ADULTS

El factor de risc més important per a les malalties respiratòries cròniques en adults és el tabac i els efectes de fumar sobre la salut sembla que se superposen àmpliament amb els de la contaminació atmosfèrica. Per

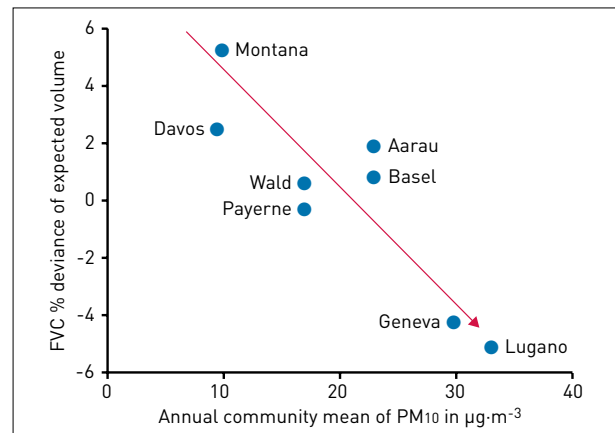


Figura 6.4. Funció pulmonar en adults, representada en percentatge de desviació de la capacitat vital forçada (CVF) esperada i mitjana anual comunitària dels nivells de PM₁₀ en vuit comunitats a Suïssa, a partir de l'estudi SAPALDIA [19]. La fletxa indica capacitat pulmonar disminuïda en comunitats amb nivells de PM₁₀ més alts.

altra banda, la proximitat a carrers residencials pot no ser només una indicació de l'exposició a la contaminació, sinó també de les diferències en factors sociodemogràfics, inclòs el tabaquisme. Els estudis que avaluen l'impacte de la contaminació atmosfèrica ambiental sobre malalties com la MPOC i l'asma en adults necessiten tenir en compte la correlació entre aquests factors, a més de trets individuals com l'edat, el sexe i els factors genètics. Els resultats basats en els no fumadors són particularment valuosos.

La tos crònica i la flegma, així com la disminució de la funció pulmonar, s'han associat a l'exposició a llarg termini a PM, en diversos estudis transversals repetits als EUA i a Europa.

És interessant destacar que alguns d'aquests estudis han demostrat que els símptomes respiratoris són més freqüents entre els participants que viuen a prop de carrers principals, independentment de les concentracions de contaminants de fons (vegeu el requadre 6c). D'altra banda, la reducció en l'exposició va atenuar la disminució de la funció pulmonar relacionada amb l'edat.

Com en els nens, l'asma en adults no està clarament relacionada amb els nivells de contaminació urbana. Els pocs estudis que investiguen la contribució de la contaminació atmosfèrica local relacionada amb el trànsit a l'aparició d'asma en adults han trobat resultats similars als que estudien la incidència de l'asma infantil, però és necessari que continuï la investigació per tal de clarificar

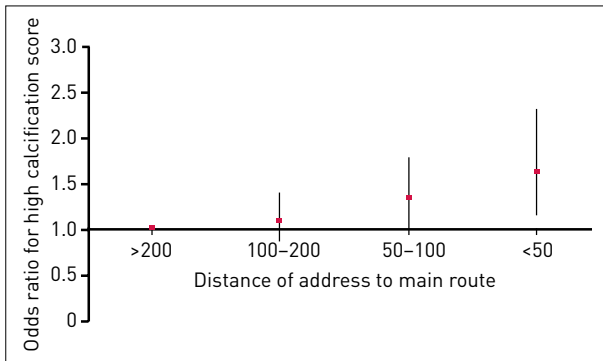


Figura 6.5. Risc de calcificació de l'arteria coronària i distància des del lloc de residència fins a l'arteria de trànsit intens més propera [20].

aquests resultats i la interacció amb l'atòpia i altres factors de l'hoste. La contribució de la contaminació atmosfèrica a la MPOC també necessita ser investigada amb més profunditat i és crucial que es controli adequadament l'hàbit tabàquic, però alguns estudis han donat suport a la idea de que la contaminació atmosfèrica contribueix a la MPOC.

SALUT CARDIOVASCULAR

Durant els darrers anys, el principal focus de la investigació sobre la contaminació atmosfèrica s'ha desplaçat de les malalties respiratòries a les cardiovasculars, perquè les associacions entre la contaminació atmosfèrica i la salut cardiovascular semblen ser més estretes del que es va creure inicialment. Un estudi transversal a Alemanya va constatar que el trànsit exercia un efecte sobre la prevalença de la malaltia coronària, independentment de PM_{2.5} (Estudi RECALL de Heinz Nixdorf), on l'infart de miocardi i les intervencions per a la implantació de stents i bypass eren més freqüents en persones que vivien a prop de zones amb altes concentracions de trànsit rodat. El risc coronari disminuïa a mesura que augmentava la distància a la carretera principal. Malgrat això, l'infart —com la mort— és un esdeveniment; per tant, l'estudi no va poder distingir sense ambigüitats els efectes aguts de la contaminació sobre els atacs de cor dels seus efectes crònics sobre les patologies cardiovasculars subjacents.

La patologia més important en la malaltia cardiovascular és l'aterosclerosi. L'aterogènesi —el desenvolupament de l'aterosclerosi— és el resultat d'un procés a llarg termini. La primera evidència de l'existència d'un vincle

entre la contaminació i l'aterogènesi va procedir d'uns estudis realitzats amb animals que van desenvolupar aterosclerosi després d'una exposició a llarg termini a PM urbà concentrat. Aquesta evidència va provocar que es duguessin a terme estudis amb éssers humans centrats en l'associació entre contaminació atmosfèrica i calcificació de les artèries coronàries. Després de controlar els factors de risc individuals, un estudi a Alemanya va trobar que una reducció de la distància entre la residència del subjecte i la carretera principal més propera del 50% s'associava a un grau de calcificació un 7% més gran, independentment dels nivells de PM_{2.5} (fig. 6.5) [20].

Un nombre petit d'estudis han confirmat aquests resultats, suggerint que la contaminació urbana no només desencadena esdeveniments cardíacs sinó que també pot contribuir a les patologies cardiovasculars subjacents. S'estan realitzant esforços per a identificar més esllaons en la ruta fisiopatològica que mena a la malaltia cardíaca, com ara un desequilibri crònic del control autòmic del cor, que pot incrementar la susceptibilitat a l'arítmia i als atacs de cor, o nivells augmentats de factors de la inflamació i la coagulació.

CÀNCER COM A CONSEQÜÈNCIA DELS GASOS D'ESCAPAMENT

Basant-se principalment en dades experimentals i ocupacionals, l'agència internacional per a la recerca sobre el càncer ha avaluat els següents gasos: benzè, benzo(a)pirè, 1,3-butadiè i hidrocarburs aromàtics policíclics (HAP) que contenen sutge com a cancerígens per als éssers humans (grup 1), gasos d'escapament de motor dièsel i altres hidrocarburs com a probablement cancerígens per als éssers humans (grup 2A); i gasos d'escapament de motor de gasolina com a possiblement cancerígens per als éssers humans (grup 2B). L'Agència per a la Protecció del Medi Ambient de Califòrnia també considera els gasos d'escapament de motor dièsel com a cancerígens.

La leucèmia, els limfomes i el càncer cerebral són les neoplàsies més freqüents durant la infantesa. En dos estudis anteriors de casos i controls als EUA es va trobar un vincle entre l'exposició al trànsit i el risc de leucèmia en nens. Se sospitava que el benzè o altres COV procedents del trànsit podien ser-ne la causa. Des d'aleshores, diversos estudis de casos i controls i alguns estudis ecològics de registre s'han centrat en aquest tema amb resultats heterogenis. En general, els resultats encara són inconsistents

Requadre 6c

L'ozó i els seus efectes sobre la salut

Degut a les seves propietats oxidants (vegeu el requadre 3a), l'ozó és un gran motiu de preocupació per a la salut pública. Els seus efectes aguts sobre les persones s'han observat de manera consistent no només en estudis clínics, sinó també en estudis panell en nens i adults, tant homes com dones, que participen en activitats a l'aire lliure. Aquests efectes comprenen funció pulmonar disminuïda, reaccions inflamatòries als pulmons i símptomes respiratoris. La predisposició genètica només explica parcialment la gran varietat en la susceptibilitat individual a l'ozó. Generalment, la resposta depèn de tres paràmetres: la concentració (com més alt sigui el nivell d'ozó, més gent en resulta afectada); la duració (com més llarga sigui l'exposició, més forta serà la reacció); i el volum respiratori (com més intensa sigui l'activitat, més forta serà la reacció).

Els efectes aguts sobre la funció pulmonar i les reaccions inflamatòries són reversibles un cop finalitza l'exposició. Molts estudis han observat una reacció atenuada després de repetides exposicions a l'ozó. Les reaccions disminueixen, generalment, en el transcurs de l'estiu.

Malgrat aquesta reversibilitat i l'adaptació als efectes clínics a curt termini en els individus, molts estudis epidemiològics de les dades de registre han confirmat que l'ozó es relaciona amb mortalitat i morbiditat agudes. Una metanàlisi d'estudis de registre europeus encarregada per l'OMS va trobar un augment de la mortalitat per qualsevol causa del 0,3% i un increment de la mort cardiovascular del 0,4% per a un increment dels nivells d'ozó de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (mitjana de 8 hores). Tot i que encara queden preguntes per respondre sobre els mecanismes subjacents, un panel d'experts de l'Acadèmia Nacional de Ciències dels EUA va concloure que l'associació entre canvis diaris en les concentracions d'ozó i la mortalitat durant l'estiu és causal [22]. Alguns dels efectes associats amb l'ozó poden estar relacionats amb contaminants concomitants en el boirum d'estiu, com els aerosols secundaris. Les altes temperatures poden amplificar també els efectes de l'ozó.

Les persones amb asma es veuen especialment afectades per l'ozó a través de la intensificació de la capacitat de resposta de les vies respiratòries i l'augment de l'alliberament de cèl·lules inflamatòries i mediadors al pulmó. Els nivells diaris d'ozó s'han associat amb tos i capacitat pulmonar disminuïda en estudis panell en persones asmàtiques —especialment en nens— i amb absentisme escolar, consultes d'urgències i admissions hospitalàries per exacerbacions de l'asma. Les admissions hospitalàries relacionades amb altres malalties respiratòries no s'han vinculat de manera tan consistent amb l'ozó.

S'ha demostrat que les persones que viuen a zones amb elevada contaminació oxidant presenten dany inflamatori crònic de la mucosa nasal. Els estudis prospectius sobre el creixement de la funció pulmonar en nens i adults joves a Califòrnia no ha produït resultats clars, a diferència de les anàlisis transversals de la funció pulmonar en persones joves, que va mostrar reduccions en la funció de les vies respiratòries petites en estudiants amb una major exposició de per vida a l'ozó. L'exposició a mig termini a l'ozó en el decurs de l'estiu ha demostrat estar relacionada amb la reducció de la funció pulmonar o la disminució del creixement de la funció pulmonar en nens en edat escolar d'Alemanya i Àustria, als reclutes forçosos i als recol·lectors.

L'exposició individual a l'ozó ve determinada principalment pel temps passat a l'aire lliure i participant en activitats a l'aire lliure i, molt menys, pels nivells mitjans d'ozó a l'aire lliure, fins i tot al domicili del subjecte. Les dificultats per a avaluar l'exposició permanent amb precisió pot ser una de les raons per les quals la majoria dels estudis no han pogut detectar els efectes crònics de l'exposició a l'ozó a llarg termini.

Taula 6c.1. Disminució de la funció pulmonar a mesura que augmenten els nivells d'ozó en la població i en les persones susceptibles (OMS Euro, efectes sobre la salut dels episodis de boirum, 1992).

CONCENTRACIÓ MÀXIMA PER HORA, $\mu\text{G}\cdot\text{m}^{-3}$	MITJANA DE DISMINUCIÓ DE LA FUNCIÓ PULMONAR (VEF1) EN PERSONES ACTIVES A L'AIRE LLIURE	
	POBLACIÓ GENERAL	EL 10% MÉS SUSCEPTIBLE
< 100	no s'aprecia	no s'aprecia
100 – 200	5%	10%
200 – 300	15%	<30%
>300	25%	>50%

La mort d'adults per càncer de pulmó és d'interès primordial. El càncer de pulmó és una malaltia relativament rara (en no fumadors) amb un període de latència molt llarg. El temps transcorregut des del diagnòstic fins a la mort sovint és curt i el tractament d'èxit limitat. Per tal d'investigar el càncer de pulmó en els estudis basats en la població, la mostra de població ha de ser gran i el temps de seguiment llarg. En l'estudi de cohorts de la Societat Americana del Càncer, la incidència de càncer de pulmó va augmentar un 8% per a un increment de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dels nivells de $\text{PM}_{2.5}$ mesurats com a diferència entre ciutats; en un estudi de cohorts noruec, la incidència de càncer de pulmó va augmentar un 11% per a un increment de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dels NO_x procedents del trànsit. No obstant això i malgrat la coherència de la informació experimental, els estudis ocupacionals i els resultats de molts estudis de població, no tots els estudis epidemiològics a llarg termini han demostrat un vincle entre la contaminació atmosfèrica i el risc de càncer de pulmó. A més de l'aclaparador efecte del tabac, un efecte feble podria estar emmascarat per la classificació errònia de l'exposició, els canvis de domicili, l'estil de vida individual i els riscos laborals en el període de seguiment. Els contaminants amb un petit gradient dins de la ciutat, com ara $\text{PM}_{2.5}$, pot ser que no captin les diferències en l'exposició als gasos d'escapament del trànsit. Fins i tot el NO_2 i el fum negre poden no ser suficientment representatius per ser una mesura de l'exposició als gasos frescs d'escapament. Els patrons de moviment pendular —un factor rellevant de l'exposició a emissions de gasos d'escapament de motor dièsel— no s'han tingut en compte en cap estudi.

RESULTATS EN LA SALUT DEL SISTEMA REPRODUCTIU

Una revisió d'estudis sobre baix pes en néixer, retard del creixement intrauterí i part prematur va concloure que l'evidència de l'efecte advers de la contaminació per PM continuava sent inconsistent. Des de llavors, diversos estudis de registre força extensos als EUA, Canadà i Àsia oriental han trobat associacions del creixement fetal i la durada de l'embaràs amb els contaminants relacionats amb el trànsit i, de manera menys consistent, amb $\text{PM}_{2.5}$. Un estudi australià, que investigava nivells de contaminació més aviat baixos, no va trobar aquestes associacions. Tots els estudis van modelitzar l'exposició durant l'embaràs amb una resolució espacial com a mínim per a l'àrea definida pel codi postal de l'adreça. La modelització en alguns casos va ser extensiva durant tota la duració de l'embaràs. Resultats més recents d'estudis que seguien les dones durant l'embaràs s'afegeixen a l'evidència d'una associació entre la salut del fetus i la contaminació pel trànsit, tot i que hi ha diversos problemes metodològics que encara s'han de superar, com ara tenir en compte factors individuals de susceptibilitat i millorar l'avaluació de l'exposició.

DESENVOLUPAMENT NEUROLÒGIC, DEGENERACIÓ NEUROLÒGICA I CONTAMINACIÓ PEL TRÀNSIT

El plom orgànic és el contaminant procedent del trànsit millor conegut que es relaciona amb dèficits en el desenvolupament neurològic en nens. S'han observat relacions dosi-resposta

Requadre 6d

Viure a prop del trànsit: un problema de salut

Una gran proporció de la població europea viu a pisos o cases construïdes al llarg de carrers molt transitats. Els contaminants dels tubs d'escapament, com ara les partícules ultrafines, el monòxid de carboni o altres gasos primaris, assoleixen concentracions molt elevades al llarg dels carrers —les condicions més extremes es troben als carrers estrets flanquejats amb edificis alts—. Degut a la dispersió i l'agregació, les concentracions d'aquests contaminants disminueixen ràpidament a nivells urbans a una distància de tan sols 50-100 m de les principals artèries de trànsit. Els cotxes dièsel, els camions i els autobusos emeten concentracions particularment elevades de sotge i un gran nombre de substàncies molt tòxiques s'adhereixen a aquestes partícules fines; també es troben substàncies tòxiques a les partícules grosses formades per desgast dels frens i abrasió de la superfície de la carretera. Aquestes partícules, aleshores, tornen a quedar suspeses a l'aire per acció del moviment del trànsit. Com a resultat, l'exposició a aquests contaminants pot ser molt alta durant els períodes de més moviment pendular i entre les persones que passegen, juguen o viuen a prop de carrers principals.

Molts estudis epidemiològics recents estan investigant o han investigat els resultats en la salut en funció de la proximitat al trànsit. Tenint en compte els factors de confusió potencials, aquests estudis suggereixen emfàticament que el fet de viure a prop d'una carretera molt transitada suposa un risc per a la salut degut a la contaminació. Malgrat això, aquests estudis són també molt heterogenis pel que fa a la metodologia emprada i una ressenya crítica recent va demanar una major qualitat de la investigació, ja que l'evidència actual per a una sèrie de resultats és suggeridora, però no concloent (vegeu la taula 6b.1). El desenvolupament d'asma en nens és una excepció: hi ha gran quantitat d'informació disponible. Gràcies a una recent publicació de l'Estudi sobre la Salut dels Nens a Califòrnia, s'ha reforçat l'evidència que els contaminants vinculats al trànsit contribueixen al desenvolupament d'asma infantil, com a mínim en aquells nens que en són genèticament susceptibles [23]. Aquesta evidència planteja nous reptes per als responsables polítics, ja que les decisions sobre planificació urbana poden tenir importants implicacions per a la salut pública. Aquestes conclusions també poden iniciar debats en els consells escolar i les comunitats sobre la ubicació d'escoles i centres de dia en immediata proximitat a les principals artèries de trànsit.

entre dèficits d'intel·ligència i els nivells de plom a la sang, sense indicis d'un llinar més baix, de fins a $10 \mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ de sang. Els estudis de cohorts en adults exposats al plom suggereixen que l'exposició a aquest element a llarg termini, mesurada a través del plom emmagatzemat en els ossos, també està relacionat amb el deteriorament cognitiu prematur. La prohibició d'incorporar plom orgànic al combustible ha produït descensos de més del 90% en els nivells mitjans de plom a la sang en la població de les nacions industrialitzades. Les concentracions reals de plom en l'aire es consideren mínimes, fins i tot al costat de les principals vies amb trànsit intens.

Una nova àrea de preocupació però, es la de les partícules ultrafines provinents dels processos de combustió. S'ha demostrat en animals que aquestes partícules es traslladen des del nas a través del nervi olfatori fins al

cervell, donant lloc a processos inflamatoris similars a malalties degeneratives. Un equip d'investigadors mexicans va observar una major inflamació del cervell i més acumulació d'amiloide en l'examen *post mortem* d'individus procedents d'àrees amb molta contaminació atmosfèrica en comparació amb individus precedents d'àrees amb una millor qualitat de l'aire. També s'ha demostrat que el coeficient intel·lectual és més baix en nens que van patir una major exposició als HAP durant el període de gestació. No obstant això, en aquests estudis, tots els indicadors d'exposició van estar fortament correlacionats amb indicadors socials com l'educació i la raça de les mares, els ingressos i l'exposició al soroll i les cohorts tenien alts índexs d'abandonament escolar. Per tant, encara no és possible concloure que aquests efectes són realment deguts a les partícules ultrafines.

Taula 6d.1. Evidència actual per a la causalitat de la contaminació vinculada al trànsit com a element perjudicial. Modificat a partir de l'informe de l'Institut d'Efectes sobre la Salut (HEI, Health Effects Institute) sobre els efectes sanitaris de l'exposició vinculada al trànsit [24]. L'informe de l'HEI es limita a revisar la literatura més recent, investigant només els efectes locals d'aquells contaminants que es presenten en concentracions molt elevades a prop de carreteres de trànsit intens. L'evidència per als efectes sobre la salut de la 'contaminació urbana' (com ara PM2.5 i altres contaminants secundaris causats també en gran mesura pel trànsit) és més sòlida per a molts indicadors de l'estat de salut.

INDICADOR	CLASSIFICACIÓ	PRINCIPALS RAONS PER A LA CLASSIFICACIÓ
Mortalitat per qualsevol causa	Suggeridor però no suficient	Nombre insuficient d'estudis
Mortalitat cardiovascular	Suggeridor però no suficient	Nombre insuficient d'estudis
Morbiditat cardiovascular	Suggeridor però no suficient	Omissió de la inclusió de variables de confusió potencialment importants
Incidència i prevalença de l'asma estimacions	Suficient, o suggeridor però no suficient	Preocupació sobre la precisió de les
Exacerbacions dels símptomes per a nens amb asma	Suficient	
Exacerbacions dels símptomes per a nens sense asma	Inadequat i insuficient	Els efectes poden ser instigats per l'asma
Assistència sanitària per als nens	Inadequat i insuficient	Preocupacions sobre la validesa del mesurament dels resultats
Asma d'aparició en l'edat adulta	Inadequat i insuficient	Un únic estudi
Símptomes respiratoris en adults	Suggeridor però no suficient	Resultats inconsistents entre les estimacions d'associació basades en la proximitat i les basades en models
Funció pulmonar (totes les edats)	Suggeridor però no suficient	Heterogeneïtat de dissenys i mesuraments de funcions
Malaltia pulmonar obstructiva crònica	Insuficient	Dos únics estudis
Al·lèrgia	Inadequat i insuficient	Mètodes inconsistents
Resultats en els naixements	Insuficient	Quatre únics estudis
Càncer	Inadequat i insuficient	Nombre insuficient d'estudis

Definició de les classificacions. Suficient: l'atzar, el biaix i les variables de confusió es van poder descartar amb raonable seguretat per arribar a la conclusió que existia una associació; Suggeridor però no suficient: l'atzar, el biaix i les variables de confusió no es van poder descartar amb raonable seguretat per arribar a la conclusió que existia una associació; Inadequat i insuficient: estudis de qualitat, consistència o poder estadístic insuficients.



7.

ABANS I DESPRÉS: BENEFICIS PER A LA SALUT PÚBLICA DE LA MILLORA EN LA QUALITAT DE L'AIRE

Exemples de millora de la salut pública després d'intervencions polítiques que resultaren en una reducció de la contaminació atmosfèrica.

El paradigma de la medicina basada en l'evidència es basa en l'assumpció que les decisions preses pels metges per a tractar els pacients haurien d'estar basades en l'evidència científica (fig. 7.1). L'estàndard d'or de l'evidència mèdica prové dels assaigs clínics controlats. El mateix paradigma s'aplica també al “tractament” dels problemes de salut pública, com ara la contaminació atmosfèrica. La pregunta important que cal fer-se és si les polítiques de reducció de la contaminació atmosfèrica no només millorarien la qualitat de l'aire, sinó que també tindrien un impacte positiu sobre la salut. Els assaigs controlats, òbviament, no són factibles en aquest context. En canvi, durant els darrers anys s'han dut a terme diversos estudis “semiexperimentals”, que han informat sobre l'impacte — o intervenció— de les millores en la qualitat de l'aire sobre la salut [26, 27]. Encara que els reptes metodològics són habitualment inherents a aquests estudis observacionals, els resultats d'uns tals “experiments naturals”

donen ampli suport a les conclusions dels estudis epidemiològics revisades en el capítol 6. Els exemples en aquest capítol il·lustren els beneficis per a la salut que resulten directament d'una reducció de l'exposició a la contaminació.

A mitjans de la dècada de 1980, una vaga en una planta siderúrgica a la vall d'Utah, als EUA, —la font més important de contaminació atmosfèrica de la zona— va crear les condicions per a un experiment no intencionat per tal d'estudiar els efectes d'una reducció de la contaminació atmosfèrica. Durant el temps que la planta va estar tancada, des de l'agost de 1986 fins al setembre de 1987, diversos marcadors de salut pública —incloent-hi visites als hospitals, parts prematurs i morts— van millorar. Després de la reobertura de la fàbrica d'acer, la contaminació va augmentar de seguida, així com una sèrie de problemes de salut (fig. 7.2). Els estudis experimentals de les partícules recollides abans, durant i després de la vaga

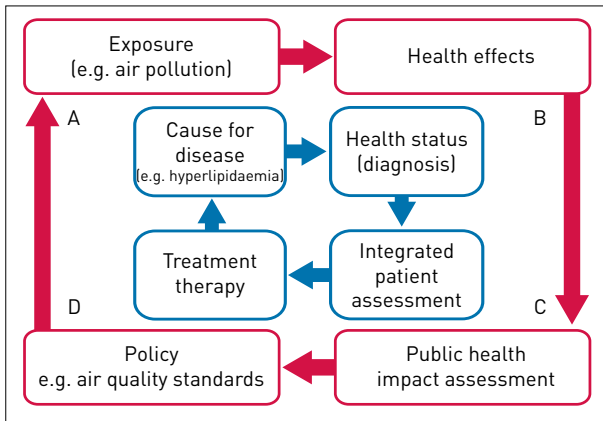


Figura 7.1. El paradigma de la medicina basada en l'evidència (cicle intern) i el concepte relacionat de salut pública basada en l'evidència (cicle extern) [25].

van confirmar que les partícules emeses durant el funcionament de la fàbrica eren força més tòxiques [28].

La reestructuració de la major part de la indústria pesant a Europa des de l'agitació política dels primers anys de la dècada de 1990 ha donat lloc a millores en algunes mesures de salut. Per exemple, tal com es mostra a la figura 7.3, la càrrega de partícules i de diòxid de sulfur als nous

estats federats d'Alemanya i, de manera concomitant, els símptomes de bronquitis en nens en edat escolar, han disminuït [31].

L'Estudi de Salut dels Nens del Sud de Califòrnia, als EUA, va informar d'un interessant "experiment natural". Durant el període de seguiment anual de les primeres cohorts, molts nens van traslladar-se a altres comunitats dels EUA. Els que vivien als estats de l'oest van ser visitats i se'ls va mesurar de nou la funció pulmonar. L'estudi va revelar beneficis en termes de desenvolupament de pulmó entre aquells nens que es van traslladar a comunitats més netes. Per contra, aquells que es van traslladar a llocs amb més contaminació van experimentar una atenuació del desenvolupament del pulmó [32].

Si bé la majoria de les polítiques resulten en millores subtils a llarg termini, la prohibició sobre el carbó implementada a Dublín, Irlanda, el 1990, és un exemple d'una política ambiental orientada vers una font de contaminació dominant [33]. La política va donar com a resultat millores immediates i sostingudes en la qualitat de l'aire. Es va produir una davallada del 35% en els nivells de fum negre —comparant els 3 anys anteriors amb els 3 anys posteriors a la prohibició—

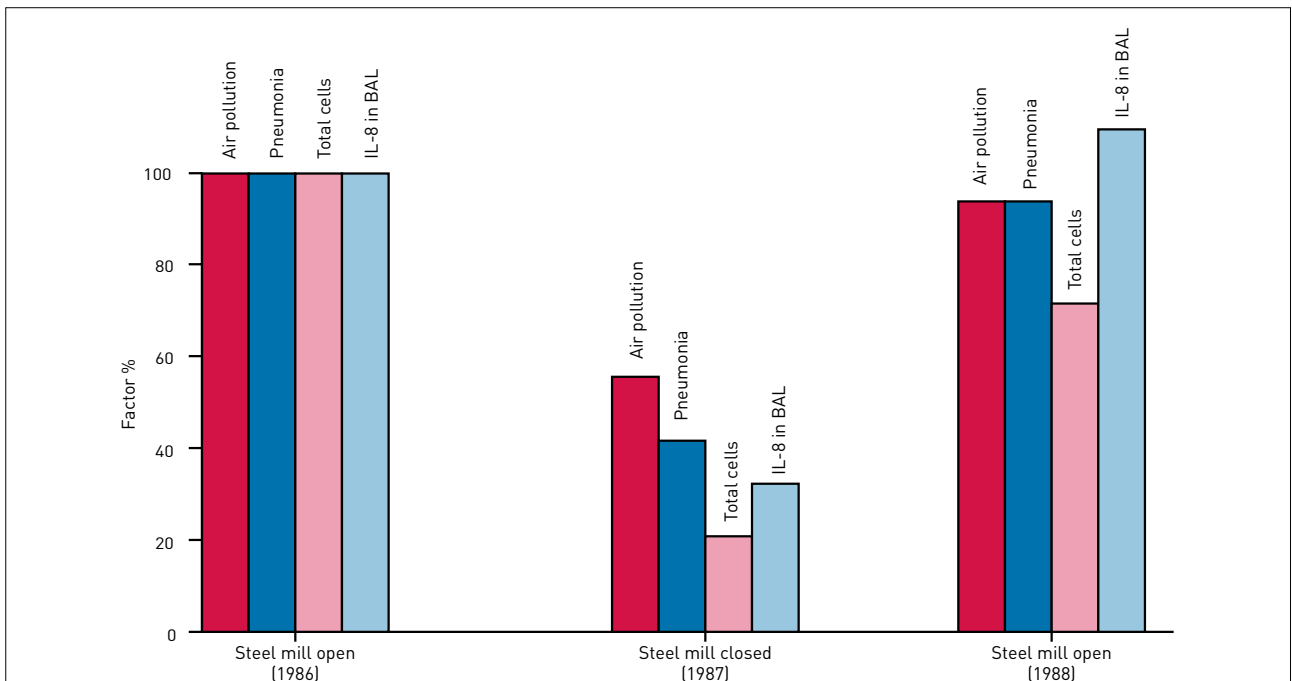


Figura 7.2. Canvis en la contaminació atmosfèrica i en les admissions hospitalàries i els efectes cel·lulars i broncoalveolars durant i després d'un any de tancament de la fàbrica d'acer a la vall d'Utah. Efectes observats a partir d'estudis epidemiològics, toxicològics i experimentals. [28-30].

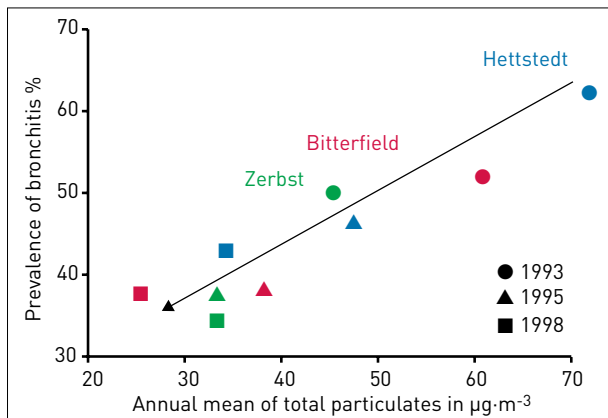


Figura 7.3. Contaminació per partícules i bronquitis en nens en edat escolar a Saxònia, Alemanya [31]. La fletxa indica una prevalença menor en comunitats amb nivells més baixos de partícules.

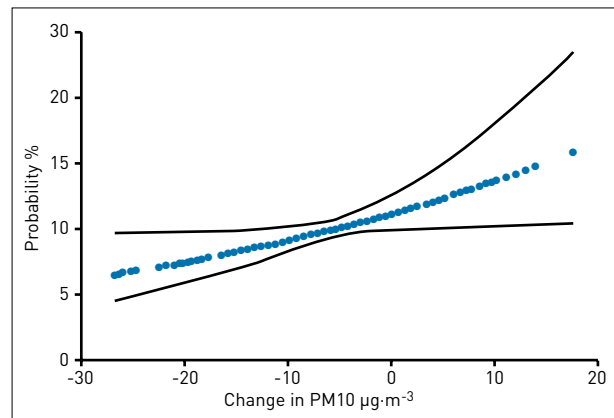


Figura 7.4. Probabilitat amb un interval de confiança del 95% de la presència de tos crònica o flegma, dependent dels canvis en la contaminació per PM10 entre 1991 i 2002 en l'estudi SAPALDIA [34].

paral·lelament a un significant declivi (10-15%) en la mortalitat cardiovascular i respiratòria. Aquest és un dels pocs “estudis d'intervenció” capaços de confirmar els beneficis d'una política única (si bé dràstica). La reducció observada en els índexs de mortalitat va ser similar al valor esperat a partir de les extrapolacions dels resultats de les investigacions epidemiològiques sobre l'associació entre contaminació atmosfèrica i mortalitat.

Polítiques concertades implementades a Suïssa i països veïns durant la dècada de 1990 van resultar en una disminució de la contaminació atmosfèrica i en una sèrie de millores en la salut [34-36]. Repetides investigacions transversals dutes a terme en classes escolars, van observar una disminució dels símptomes irritants i les malalties respiratòries en nens. Aquest canvi es va relacionar amb una davallada dels nivells de PM. L'estudi de cohorts suïss SAPALDIA va fer un seguiment del deteriorament de la funció pulmonar en adults durant el mateix període de temps. El deteriorament de la funció pulmonar relacionada amb l'edat es va vincular amb la qualitat de l'aire; en particular, el descens durant 11 anys en les estimacions individuals dels nivells de PM10 interiors/exteriors es va associar amb un deteriorament atenuat de la funció pulmonar. Les millores de la qualitat de l'aire també van tenir un efecte beneficiós sobre els símptomes respiratoris: una disminució mitjana de PM10 de $6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ va coincidir amb 259 individus menys amb tos regular, 179 menys amb tos crònica o flegma i 137 menys amb sibilàncies acompanyada de manca d'alè per cada 10.000 adults. D'altra banda, una disminució de la nova aparició

d'asma en adults, indicada per la tos crònica, es va relacionar amb el canvi en la contaminació (fig. 7.4).

Els estudis realitzats abans i després dels jocs olímpics proporcionen una oportunitat per a avaluar els beneficis per a la salut pública d'una reducció de la contaminació atmosfèrica en una ciutat [37, 38]. El 1996, Atlanta, EUA, va implementar mesures dràstiques per tal de disminuir la contaminació. Durant les 3 setmanes dels jocs, es va mesurar menys contaminació (els nivells d'ozó durant les hores punta van caure un 28%, els nivells de NO_2 durant les hores punta van caure un 7%, els nivells de monòxid de carboni cada 8 hores van caure un 19%, la mitjana diària de PM10 va caure un 16%) que durant les tres setmanes anteriors i posteriors als jocs. Les visites als metges per asma en nens van disminuir durant els jocs més d'un 40% i les visites d'urgències relacionades amb l'asma un 11-19%. Durant el mateix període, les visites de nens al metge per altres motius gairebé no van patir cap fluctuació. Durant el període dels jocs olímpics d'estiu a Beijing el 2008, les concentracions mitjanes de PM2.5 i PM10 van ser un 31 i un 35% més baixes, respectivament, que durant el període no olímpic. Diversos estudis panell en curs estan examinant les associacions entre la contaminació atmosfèrica i els resultats de salut subclínic abans, durant i després dels jocs de 2008. Aquests estudis panell haurien de proporcionar una oportunitat única d'avaluar els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica en una ciutat amb nivells de contaminació molt elevats.



8.

LA PARADOXA DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA: RISCOS PETITS, GRAN CÀRREGA DE SALUT PÚBLICA

Malgrat els riscos relatius associats amb els nivells actuals de contaminació atmosfèrica són normalment força petits, l'impacte general de la contaminació atmosfèrica sobre la salut pública és substancial i, per tant, els beneficis de les polítiques d'aire net poden ser molt grans.

Les diferències en l'exposició a la contaminació atmosfèrica entre individus són generalment limitades. En conseqüència, les diferències dels riscos sobre la salut entre individus amb exposicions "altes" o "baixes" cal esperar que siguin petites, comparades amb els resultats d'exposicions com ara al tabac: els fumadors empedreïts presenten exposicions diversos ordres de magnitud més grans que les dels fumadors ocasionals o les dels no fumadors. Tanmateix, per avaluar i comparar la rellevància per a la salut de diferents factors de risc previsibles i així poder diferenciar "grans problemes" de qüestions sanitàries menys importants, no n'hi ha prou amb avaluar els riscos relatius (RR). Cal tenir en compte tres mesures conjuntament.

- La freqüència subjacent (en la població) de les malalties a les quals la contaminació atmosfèrica podria contribuir.
- La distribució de l'exposició, és a dir, quantes persones estan exposades i a quins nivells de contaminació.
- El RR, que ens indica el risc addicional de malaltia degut a la contaminació atmosfèrica.

En contrast amb molts altres factors de risc de malaltia prevenibles, l'exposició a la contaminació atmosfèrica afecta una proporció extremament gran de la població. Bàsicament, no hi ha persones no exposades i tothom qui viu a una àrea urbana continua estant exposat a quantitats substancials de contaminació atmosfèrica. Aquesta és la raó clau d'una paradoxa que es fa més evident en les avaluacions de l'impacte de la contaminació atmosfèrica sobre la salut pública —també anomenats de vegades Estudis d'Impacte en la Salut (EIS) de la contaminació atmosfèrica. Els EIS tenen en compte la diferència entre els riscos que corren els individus *versus* aquells a què s'enfronten les poblacions (vegeu el requadre 8A). Els EIS tradueixen les troballes de la literatura epidemiològica o toxicològica —p. ex. els RR o OR— en una quantificació aproximada del problema de salut total en una regió, país o ciutat determinats que pot ser atribuïble a la contaminació atmosfèrica. L'ús dels EIS no està restringit a la contaminació atmosfèrica: per exemple, han proporcionat evidència primordial per a demostrar la necessitat d'una reglamentació sobre el fet de fumar en espais públics a Europa i arreu.

Els EIS sobre contaminació atmosfèrica també han estat una eina molt efectiva per a informar els responsables polítics i el públic sobre la mida aproximada del problema de la contaminació atmosfèrica. A Europa, per exemple, s'han utilitzat per a demostrar que la càrrega sanitària global atribuïble a la contaminació atmosfèrica és considerable. Els EIS han impulsat la reglamentació sobre la qualitat de l'aire en informar els responsables polítics dels probables beneficis per a la salut pública de les polítiques per a reduir la contaminació atmosfèrica.

Els EIS s'han desenvolupat a fi de proporcionar estimacions impactants per a problemes de salut com ara la mort (o l'esperança de vida: vegeu el requadre 8b), admissions hospitalàries i problemes respiratoris atribuïbles a la contaminació atmosfèrica i per a canvis seleccionats en els nivells de contaminació atmosfèrica que poden representar els escenaris de la política del futur o del passat. La política —i els responsables

polítics— necessiten la informació que els permetrà prendre decisions sobre la idoneïtat o la prioritització de la política pública, atesos els limitats recursos. Les anàlisis de cost-benefici basades en la valoració monetària dels beneficis per a la salut són de vegades una part integrant dels EIS. En l'àmbit europeu, existeixen molts EIS locals per a diferents ciutats o regions i per a diferents objectius. Alguns són comissionats per estimar el grau d'un problema de salut, mentre que d'altres avaluen els possibles beneficis de les estratègies de reducció de la contaminació atmosfèrica. A continuació es presenten algunes de les iniciatives dels EIS més importants dutes a terme en els darrers anys a Europa.

A mitjans de la dècada de 1990, el govern suís va assumir un paper rellevant en l'estudi de la contaminació atmosfèrica i això va donar lloc a un dels primers EIS dut a terme a Europa [39]. Aquest estudi va estimar l'impacte de la contaminació atmosfèrica exterior i de la relacionada amb el trànsit sobre la salut pública a Àustria, França i Suïssa i va concloure que la contaminació atmosfèrica va causar el 6% de la mortalitat total, o més de 40.000 casos atribuïbles per any. Aproximadament la meitat de la mortalitat causada per la contaminació atmosfèrica es va atribuir al trànsit de vehicles de motor, que també era responsable de més de 25.000 nous casos de bronquitis crònica (adults), més de 290.000 episodis de bronquitis (nens), més de 500.000 atacs d'asma i més de 16 milions de dies persona d'activitats restringides. Aquest estudi era, de fet, part de l'estratègia del govern suís per a internalitzar les anomenades despeses “externes” del tràfic pesat (normalment cobertes pel contribuent) en les polítiques Suïsses. La quantificació de les despeses relacionades amb la salut era, doncs, un pas important en aquest EIS.

L'anàlisi cost-benefici Aire pur per a Europa (CAFE-CBA, Clean Air for Europe Cost-Benefit Analysis) és una important iniciativa EIS europea [40]. L'objectiu de la CAFE-CBA era desenvolupar a llarg termini assessorament estratègic i integrat sobre la normativa per a protegir el públic contra els importants efectes negatius de la contaminació atmosfèrica en la salut humana i el medi ambient. La CAFE-CBA estimà la càrrega sanitària de la contaminació atmosfèrica exterior basant-se en les projeccions de les emissions fins el 2020 per a tot Europa i per a 25 estats membres de la Unió Europea pel que fa a diverses polítiques de control d'emissions. Va proporcionar una anàlisi cost-benefici per a la normativa sobre emissions a Europa. L'anàlisi va revelar que es preveïen grans beneficis per a

Taula 8.1. Exemples dels beneficis sobre la salut atribuïts a la reducció de la contaminació atmosfèrica en àrees seleccionades d'Europa.

CONTAMINANT/ESCENARI^a/ CÀRREGA SANITÀRIA METROPOLITANA	26 CIUTATS EUROPEES [41]	ÀUSTRIA, FRANÇA, SUÏSSA [39]	ITÀLIA 13 CIUTATS [45]	ESPANYA ÀREA DE BARCELONA [43]
Població exposada (milions)	~ 41,5	~ 80,0	~ 10,0	~ 3,9
PM ₁₀				
Nivells actuals (mitjana anual)	54 µg·m ⁻³ ^b	21 µg·m ⁻³	45 µg·m ⁻³	50 µg·m ⁻³
Escenari de reducció	Nivell de reducció anual fins a 40 µg·m ⁻³	Nivell de reducció anual fins a 7,5 µg·m ⁻³	Nivell de reducció anual fins a 40 µg·m ⁻³	Nivell de reducció anual fins a 40 µg·m ⁻³
Beneficis sobre la salut (resultat no considerat)				
Morts (exposició a llarg termini)	8.550	40.600	2.270	1.200
Admissions hospitalàries per problemes respiratoris	—	18.508	225	390
Admissions hospitalàries per problemes cardiovasculars	—	29.500	176	210
Bronquitis crònica en adults	—	47.100	1.114	1.900

^a: Assumeix una reducció dels nivells actuals als nivells proposats en l'escenari; ^b: Només 8 ciutats amb nivells per sobre de 40 µg·m⁻³

aquest període de temps (amb davallades quantificades de l'impacte de la contaminació atmosfèrica de 89.000 M€ a 183.000 M€ per a l'any 2020) com a conseqüència de la nova legislació de control d'emissions. Això exclou els beneficis no inclosos en el marc monetari, en particular les reduccions en el dany als ecosistemes i al patrimoni cultural. No obstant això i malgrat aquestes millores, l'avaluació va demostrar que els danys de base continuaran sent significatius l'any 2020 (es calcula que entre 191.000 M€ i 611.000 M€ per any). La iniciativa CAFE ha donat lloc a una estratègia temàtica exposant els objectius i les mesures a prendre per a la propera fase de la política europea d'aire net.

Contaminació atmosfèrica i salut: un sistema d'informació

europèu (APHEIS, Air Pollution and Health: a European Information System) [41, 42], va ser creat el 1999 a fi de proporcionar recursos en la lluita contra la contaminació atmosfèrica per als responsables polítics, els professionals de la salut i el medi ambient, el públic i els mitjans de comunicació. L'avaluació més recent d'APHEIS, APHEIS-3, va incloure 23 ciutats amb una població total de gairebé 39 milions d'habitants. S'estima que es podrien evitar 11.000 morts prematures anualment si l'exposició a llarg termini a PM_{2.5} es reduïa a 20 µg·m⁻³. L'avaluació va estimar que l'esperança mitjana de vida d'una persona de 30 anys podria ser prolongada, depenent de l'àrea geogràfica, de 2 a 13 mesos si les concentracions de PM_{2.5} fossin restringides a ≤15 µg·m⁻³. El projecte va presentar

evidències que els actuals standards de qualitat de l'aire legislat per la Unió Europea no eren prou estrictes per a protegir una gran part de la població europea.

Millora del coneixement i la comunicació per a la presa de decisions sobre Contaminació Atmosfèrica i Salut a Europa (APHEKOM, Health Impact Assessment of Urban Air Pollution in Europe): una extensió del projecte APHEIS, també avaluarà l'impacte de la proximitat del trànsit —i la contaminació relacionada— sobre la salut. Els EIS europeus encara han d'estudiar aquest impacte en particular, però una avaluació duta a terme a Califòrnia, mostra que pot ser important [43].

L'OMS ha desenvolupat dues importants iniciatives EIS a nivell global. Des de 1990, el projecte Càrrega Mundial de Morbiditat (CMM) ha estat recopilant una descripció coherent i comparativa de la càrrega de malalties i lesions i els factors de risc que les causen en totes les regions del món [44]. Els resultats CMM són una aportació molt important a la presa de decisions i planificació de processos sobre la salut a nivell mundial i nacional. Segons l'avaluació més recent de l'OMS de la CMM deguda a la contaminació de l'aire, més de 2 milions de morts prematures cada any es poden atribuir als efectes de la contaminació urbana de l'aire exterior i la contaminació de l'aire interior (per la crema de combustibles sòlids). En concret, el total estimat de CMM a causa de la contaminació de l'aire exterior pot explicar aproximadament l'1,4% de la mortalitat total, el 0,5% de tots els anys de vida ajustats per discapacitat (AVAD) perduts i el 2% de totes les malalties cardiopulmonars. Més de la meitat d'aquesta càrrega de morbiditat recau sobre les poblacions dels països en desenvolupament. El marc CMM és clau per a avaluar la importància relativa de les malalties, lesions i factors de risc com a causa de mort prematura, pèrdua de la salut i discapacitat en diferents poblacions i en el temps.

La segona iniciativa duta a terme per l'OMS és el desenvolupament d'unes directrius pel que fa als nivells de qualitat de l'aire. L'actualització més recent, de 2005, proposa noves directrius per al PM, l'ozó, el NO₂ i el SO₂ [21]. En aquesta actualització, els resultats dels EIS van tenir un paper fonamental per a la definició de les directrius, fent una síntesi de la informació científica disponible sobre l'amenaça que representen els contaminants, el seu impacte sobre la població i sobre grups especialment susceptibles i el cost social de la reglamentació. Encara que les directrius no són convencions ni criteris legalment vinculants, estan

dissenyades per a oferir assessorament sobre com reduir les repercussions sanitàries de la contaminació atmosfèrica sobre la base d'una avaluació, feta per experts, de l'evidència científica actual.

Hi ha molts exemples locals d'EIS: per exemple, a França, Itàlia, Espanya i Regne Unit s'han dut a terme projectes específics per a ciutats o per al país. A la taula 8.1 s'ofereixen diversos exemples d'EIS a escala regional, nacional i de conjunts de ciutats.

Hi ha incerteses inherents associades amb el procés de quantificació dels EIS: l'avaluació de l'exposició de la població, la consideració de les susceptibilitats de la població, o l'atribució d'un valor monetari a la vida. Com a resultat d'aquestes incerteses i de les variacions en les dades introduïdes i les assumpcions, les comparacions entre els EIS poden revelar inconsistències. No obstant, tot i això, tots els EIS conclouen que la contaminació contribueix de manera substancial a l'aparició de problemes de salut pública. Les estimacions dels impactes de canvis en la contaminació sobre la salut, així com les repercussions en els costos, són una eina important per als responsables polítics i pot millorar la implementació de millors normes, basades en la ciència.

Requadre 8a

Petits canvis en la funció pulmonar: gran impacte en la salut pública

Malgrat els efectes coneguts de la contaminació atmosfèrica sobre la salut humana són acceptats per la majoria dels científics, l'impacte en la població és sovint subestimat. La rellevància clínica d'aquest impacte pot ser exemplificada en el context de la salut respiratòria.

Els estudis epidemiològics de la contaminació de l'aire i la funció pulmonar revelen una diferència d'un petit percentatge de la funció pulmonar per a una diferència en l'exposició de, per exemple, $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en les concentracions de partícules fines. Des d'una perspectiva clínica, una diferència d'aquesta mida en la funció pulmonar és irrellevant.

Aleshores, per què són importants els resultats epidemiològics? Perquè els estudis epidemiològics no informen del percentatge de variació de la funció pulmonar d'una persona individual, sinó més aviat del canvi global en la distribució de la funció pulmonar en les poblacions amb nivells d'exposició més alts. Aquest canvi en la mitjana de la població està il·lustrat a la figura 8a.1 utilitzant la capacitat vital forçada (CVF) com a mesura de la pèrdua de funció pulmonar.

Aquest canvi, de fet, representa un desplaçament "cap a l'esquerra" en la distribució de la funció pulmonar de la població: en altres paraules, un augment en el nombre de persones amb disminucions clínicament rellevants de la funció pulmonar (per exemple, aquells amb una CVF <80% del valor teòric anticipat). Això es tradueix en un augment en el nombre de pacients amb graus patològics de dèficit de la funció pulmonar, amb el consegüent increment de la morbiditat, els costos i la mortalitat prematura.

Nous resultats epidemiològics suggereixen que la contaminació de l'aire també pot afectar el desenvolupament pulmonar dels nens. És probable que un nen que pateix un dèficit de la funció pulmonar relacionat amb la contaminació continuarà tenint uns pulmons menys sans durant tota la seva vida. I pel que fa als adults, petites disminucions de la funció pulmonar en les primeres etapes de la vida poden donar lloc a importants conseqüències per a la salut pública més endavant. L'avaluació d'aquest impacte en la salut pública a llarg termini continua sent incompleta, perquè no compremem en la seva totalitat la relació entre la pèrdua de funció pulmonar en els primers anys de vida i la morbiditat i mortalitat futures.

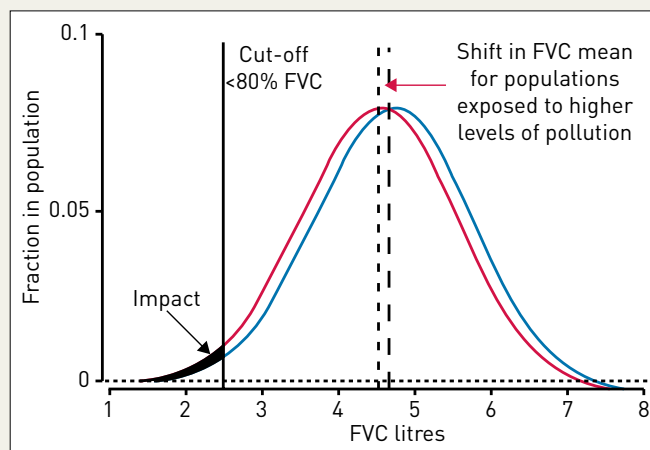


Figura 8a.1. Impacte d'un canvi petit en la capacitat vital forçada (CVF) mitjana de la població i el seu impacte en el nombre de subjectes amb CVF <80% del valor teòric anticipat a l'àrea sota la corba d'aproximadament el doble (ària en negre). Adaptat de [46].

Requadre 8b

Tots morirem: per què preocupar-se per la contaminació de l'aire?

Moltes avaluacions de risc proporcionen estimacions del nombre de morts atribuïbles cada any a la contaminació atmosfèrica. Aquestes es basen en mètodes àmpliament utilitzats i es tracta d'un enfocament molt comú a l'hora de comunicar l'abast dels riscos per a la salut pública; s'utilitza sobretot per a expressar la càrrega del tabac. No obstant això, la comunitat de recerca de la contaminació atmosfèrica ha avançat en la discussió sobre la força i les limitacions d'utilitzar les "morts atribuïbles" en referir-se als efectes a llarg termini.

La mort, en última instància, mai no es pot prevenir i si una cohort se segueix, des del moment del naixement, durant el temps suficient, tothom es mor; no importa com és de net l'aire o quants subjectes fumen. A més a més, la taxa derivada de morts atribuïbles no roman constant en el temps. Degut a canvis en la distribució per edats en una població en què les taxes de mortalitat específiques per edat es redueixen a causa de l'eliminació d'un factor de risc (com la contaminació atmosfèrica), la població, en essència, envelleix. Per tant, el nombre total (absolut) de morts *augmenta* gradualment a mesura que la població envelleix i, consegüentment, les morts atribuïbles calculades disminuiran gradualment.

Traduir les morts atribuïbles en anys de vida perduts resol aquestes incoherències. Suposant que la vida és, de fet, escurçada per la contaminació atmosfèrica, els beneficis atribuïbles a una millora sostinguda en la qualitat de l'aire es pot expressar en termes de guany en l'esperança de vida d'una població. Als EIS, els guanys en l'esperança de vida per a un escenari específic de contaminació de l'aire són la diferència entre l'esperança de vida calculada usant les dades observades de mortalitat específica per edats de la població i l'esperança de vida revisada calculada utilitzant dades de mortalitat específica per edats modificades tenint en compte el canvi previst en els nivells de contaminació de l'aire.

Diversos estudis de cohorts han estimat les pèrdues o guanys en l'esperança de vida relacionats amb canvis en la qualitat de l'aire. Les estimacions inclouen reduccions de l'esperança de vida d'1,11 anys als Països Baixos, 1,37 anys a Finlàndia i 0,80 anys al Canadà, com a resultat d'increments en les concentracions de PM_{2.5} ambientals de 10 µg·m⁻³. Un estudi ecològic recent va investigar l'associació entre l'esperança de vida als EUA i els canvis en la qualitat de l'aire a nivell comunitari. Aquest estudi va produir resultats molt similars als estudis de cohorts, atribuint un guany de 7 mesos en l'esperança de vida a una millora de 10 µg·m⁻³ en la concentració de PM_{2.5} ambiental [47].

Expressar els resultats en termes de canvis en l'esperança de vida té les seves pròpies limitacions i, igual que el concepte de mort atribuïble, requereix algunes assumpcions. L'esperança de vida és en realitat un concepte més aviat teòric, de manera que la comunicació d'aquestes estimacions pot representar un repte, mentre que les morts atribuïbles són fàcilment comprensibles. No obstant això, els avantatges de mesurar l'esperança de vida és probable que conduïxin a un ús més ampli dels "anys de vida perduts" per a expressar els beneficis de les millores en la qualitat de l'aire.



9.

EL PAPER DELS METGES I DELS PROFESSIONALS DE LA SALUT

Com poden influir els metges i els professionals de la salut en els diferents nivells de prevenció per a reduir l'exposició i els efectes sobre la salut.

Els efectes en la salut de la contaminació atmosfèrica comparteixen moltes característiques amb els relacionats amb els fumadors actius o passius (vegeu el capítol 6). No obstant això, els problemes mediambientals representen un conjunt de desafiaments força diferents per als metges i altres professionals de la salut.

Quatre objectius d'acció proposats poden comportar la reducció de l'impacte en la salut de la contaminació de l'aire. Els dos primers nivells actuen sobre el medi ambient més que no pas sobre els individus: 1) disminució de la contaminació atmosfèrica en el seu origen per a millorar la qualitat de l'aire ambiental; i 2) reducció de la contaminació en ambients interiors en els quals la gent passa la major part del temps. Les altres dues estratègies subsegüents depenen únicament de l'individu: 3) acció individual per a reduir l'exposició o la dosi personals; i 4) tractaments adoptats per a modificar les respostes de cada un a la contaminació de l'aire, i/o per a reforçar els mecanismes de defensa.

OBJECTIU D'ACCIÓ 1: DISMINUCIÓ DE LA CONTAMINACIÓ AMBIENTAL

L'estratègia més important és la millora contínua de la qualitat de l'aire fent reduir les emissions. Cal disposar

de reglaments estrictes sobre la qualitat de l'aire per a millorar-la (vegeu el capítol 4). El paper dels professionals de la salut és el mateix que el de qualsevol ciutadà informat: exigir i donar suport als reglaments sobre la qualitat de l'aire. Les opinions dels professionals de la salut sobre temes relacionats amb la salut poden influir en el procés de presa de decisions. Defensar públicament l'evidència científica, la qual reivindica inequívocament la millora de la qualitat de l'aire en gran zones d'Europa i del món, és, per tant, un paper molt important per als metges i altres autoritats sanitàries.

OBJECTIU D'ACCIÓ 2: REDUIR LA CONTAMINACIÓ D'ORIGEN EXTERN EN ESPAIS TANCATS

La gent passa la major part del temps en espais interiors. El problema més comú de la qualitat de l'aire a l'interior encara és el fum del tabac i altres fonts interiors com ara les llars de foc, les estufes de querosè i els productes de consum (o, en certs indrets, el radó procedent de sota terra) poden influir més en la qualitat de l'aire de la llar que els contaminants ambientals exteriors. En cas que no hi hagi cap font de contaminació interior però, els nivells

interiors de contaminants “exters” depenen sobre manera de la qualitat de l’aire exterior. La gent pot tenir a l’abast algun mitjà per bé que limitat per a reduir l’impacte de la contaminació exterior en la qualitat de l’aire interior. Les concentracions de gasos summament reactius com ara l’ozó són molt menors a interiors pròxims a alguna font i on partícules ultrafines procedents de gasos d’escapament recents tendeixen a acumular-se amb el temps. Per tant, mesures com obrir les finestres només en hores de menys trànsit i en hores en què els nivells d’ozó son baixos, poden contribuir a minimitzar la contaminació de l’aire interior.

Les concentracions de diversos contaminants ambientals són menors en llocs amb aire condicionat, com ara oficines modernes i espais públics interiors. D’altra banda, l’aire condicionat fa servir molta energia, i, en conseqüència, pot contribuir a augmentar els nivells de contaminació exterior, en funció del tipus de subministrament energètic. Un tema controvertit és si el pacients, sobretot els que pateixen malalties respiratòries, haurien d’invertir en sistemes de filtració d’aire interior. Tot i que els netejadors d’aire amb filtres HEPA (High-Efficiency Particulate Air) redueixen les concentracions de PM en entorns interiors experimentals, molt pocs estudis han confirmat que l’ús d’aquests filtres HEPA millori la salut en les condicions de vida real. Per bé que els possibles beneficis no s’han de rebutjar, d’aquestes solucions cal sospesar el cost, el consum energètic, les molèsties causades per l’aparell i la importància relativa de l’exposició durant el temps que es roman a altres llocs. Cal dissuadir la gent de comprar “netejadors d’aire” que produeixen ozó o altres gasos del quals és sabut que tenen efectes adversos sobre la salut.

OBJECTIU D’ACCIÓ 3: MODIFICAR L’EXPOSICIÓ O LA DOSI INDIVIDUALS

La contaminació ambiental continuarà sent una realitat en els pròxims anys, per tant, els efectes adversos sobre la salut seran inevitables. En vista d’això, la gent pot estar interessada en adoptar estratègies individuals per tal de reduir la seva exposició o dosi, tot i la pobra qualitat de l’aire. L’exposició i la dosi individuals depenen de la ubicació i dels patrons temps-activitat.

Ubicació

La gent que viu a uns 50-100 m d’una carretera molt transitada s’enfronten a una exposició molt més alta

de contaminants relacionats amb el trànsit. En última instància, els riscos per a la salut depenen de la distància fins a la carretera, la densitat i el tipus de trànsit (p. ex., parar i arrencar, pujades/baixades, camions/autobusos dièsel), així com de l’estructura urbana i la direcció del vent. Les concentracions dels contaminants primaris relacionats amb el trànsit es dilueixen amb els nivells de fons a tan sols entre unes poques dotzenes i centenars de metres. A més, també són inferiors en els pisos més alts dels edificis que en la planta baixa.

Els pacients, així com les famílies joves, poden triar opcions més saludables si tenen accés a l’assessorament adient. Tot i que els individus no poden influir directament en els nivells ambientals dels contaminants, i no sempre és possible canviar de domicili, potser poden triar on passar el temps. Caminar per carreteres amb un flux de trànsit molt elevat es tradueix en una exposició molt més gran que fer servir els carrers adjacents amb poc o gens trànsit (p. ex., zones de vianants). Tenint en compte els efectes sobre la salut coneguts (vegeu el requadre 6d), cal dissuadir la gent de fer fúting per carreteres principals i congestionades i triar rutes alternatives amb nivells de contaminació més baixos. En conseqüència, els jardins d’infància, les escoles i centres esportius no s’haurien de construir a prop de carreteres molt transitades.

Temps i activitat

Les concentracions ambientals de molts contaminants segueixen pautes diürnes, p. ex., més contaminació durant les hores punta, o pics en els nivells d’oxidants (boirum fotoquímic) a la tarda o a primera hora del vespre. La dosi de contaminants que arriben als òrgans diana augmenta amb l’activitat física. Per tant, l’elecció dels nivells de temps i d’activitat a la llarga afecta l’exposició i la dosi. Allò que per a una zona es pot considerar un “període de contaminació alt”, en ciutats amb més contaminació es pot considerar normal. Per consegüent, no és possible recomanar limitar l’activitat a diferents concentracions de contaminants. En general, durant els episodis de boirum fotoquímic, les activitats exteriors que requereixen resistència (carreres, futbol, etc.) cal fer-les durant el matí. En moments de molta contaminació particulada, les escoles poden escollir organitzar els seus esdeveniments esportius en instal·lacions interiors en comptes d’exteriors.

Sota condicions de contaminació ambiental extrema, la gent pot optar per portar màscares. Els beneficis per a la salut de portar màscares per a protegir-se dels efectes de la

contaminació ambiental no s'han investigat en la població general. Les màscares no poden proporcionar una protecció total contra l'exposició als contaminants ambientals. Fins a cert punt, l'exposició al PM₁₀ en concret a les fraccions fines i irregulars, així com a la pols es pot reduir. Algunes investigacions sobre l'exposició ocupacional han desvetllat que l'adaptació de la màscara és molt més important que el tipus de filtre [48].

OBJECTIU D'ACCIÓ 4: ACTUACIÓ CLÍNICA I TRACTAMENT PREVENTIU, ELS ROLS DELS METGES

Rol clínic

Els problemes clínics causats pels contaminants ambientals no són específics, i, per tant, trobar proves de diagnòstic rigoroses que un pacient pateix un problema relacionat amb la contaminació de l'aire és més aviat impossible. El tractament i l'assessorament de pacients que pateixen de problemes de salut "possiblement relacionats amb la contaminació atmosfèrica" no difereix del tractament per als mateixos problemes originats per altres causes. El risc d'exacerbació de malalties cròniques com ara l'asma o l'MPOC així com de problemes cardiovasculars, augmenta durant els períodes de més contaminació. Es pot avisar els pacients per tal que segueixin tractaments preventius durant aquests períodes. En algunes ciutats, les dades monitorades i/o el pronòstic de les concentracions de contaminació atmosfèrica a curt termini són de fàcil accés i poden servir de guia per a pacients susceptibles.

Rol preventiu Assessorament

Els pacients poden conèixer els efectes sobre la salut relacionats amb la contaminació ambiental i/o poden confrontar amb els metges les seves opinions, creences i temors sobre la contaminació atmosfèrica. Cal que el personal sanitari situï la contaminació ambiental en el context racional i més ampli de la vida i de la situació personal dels pacients. És important la comparació d'aquest risc mediambiental amb altres factors significatius per a la salut als quals pot estar exposat un pacient. En primer lloc, els metges haurien d'explicar als fumadors que el risc relacionat amb la contaminació ambiental és incomparablement més petit que el degut a l'hàbit de fumar, i és molt més fàcil i efectiu acabar amb

aquest últim. Els pares fumadors han d'entendre que l'exposició passiva dels nens al fum representa un risc similar al de la contaminació atmosfèrica.

Mediació preventiva

Han de tractar els doctors els pacients per protegir-los dels efectes adversos de la contaminació atmosfèrica? No abunda literatura sobre la interacció dels contaminants de l'aire amb els tractaments preventius.

Antioxidants i vitamines. Molts contaminants atmosfèrics són oxidants forts. A més, l'estrès oxidatiu endogen és una conseqüència d'efectes en l'aparició dels quals han intervingut els efectes de la contaminació ambiental. Per tant, és versemblant suposar que els antioxidants puguin tenir un paper en la defensa dels efectes de la contaminació de l'aire. Hi ha hagut molts pocs estudis controlats sobre aquest tema. En dos estudis, a Mèxic i als Països Baixos, s'examinava el paper modificador dels suplementes vitamínics antioxidants sobre els efectes respiratoris de la contaminació ambiental en nens (fig. 9.1). No se sap amb certesa si les conclusions es poden extrapolar a altres zones del món, altres estats de salut i altres grups d'edat. En general, la importància d'una dieta saludable, amb fruita i verdures riques en antioxidants, és reconeguda per a la prevenció de diverses malalties. Com a estratègia per a no penedir-se'n, convé, per tant, informar els pacients del possible paper protector dels antioxidants contra almenys alguns dels efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut.

Tractaments per a l'asma. Les respostes dels asmàtics als contaminants ambientals no són específiques i, per tant, el tractament contra els efectes d'aquesta contaminació és el mateix que el tractament per a l'asma en general. Alguns estudis clínics han demostrat que els antagonistes dels receptors de leucotriè i el salmeterol disminueixen la broncoconstricció induïda per contaminants en asmàtics. Els corticosteroides poden atenuar la resposta inflamatòria a l'ozó, però no influeixen en la reducció de la funció pulmonar induïda per contaminants. La recerca més recent se centra en la inducció de les defenses antioxidants enzimàtiques, especialment en el cas d'individus amb variants genètiques de més risc d'enzims antioxidants clau [23]. Els resultats dels estudis panel realitzats en asmàtics per a investigar els símptomes o els efectes de la funció pulmonar relacionats amb els contaminants no són coherents. En alguns estudis s'observà menys varietat d'efectes dels contaminants en asmàtics amb tractament antiinflamatori, possiblement

per l'efecte protector d'aquesta medicació. En d'altres es descobrí un efecte més fort, possiblement perquè el grup d'asmàtics que seguien el tractament antiinflamatori estava format pels casos més greus.

Estatines. Les estatines tenen propietats antiinflamatòries. Les interaccions d'aquests fàrmacs amb els efectes inflamatoris de la contaminació ambiental són concebibles però s'han investigat en molt poques ocasions. En conseqüència, prescriure estatines amb la intenció d'abatre els efectes de la contaminació atmosfèrica seria una interpretació totalment inapropiada de l'evidència de que disposem actualment.

Assessorament genètic. La caracterització genètica també és determinant de la susceptibilitat d'una persona als efectes de la contaminació ambiental. Tal com es mostra a l'annex 1, un ventall de rutes biològiques són subjacents als mecanismes vinculats als efectes de la contaminació atmosfèrica. Per tant, les variants funcionals dels gens en aquestes rutes poden afectar també els efectes biològics de la contaminació ambiental. Fins ara, la bibliografia sobre la interacció gen-medi ambient és molt reduïda i possiblement està afectada per un biaix de publicació que afavoreix els resultats positius. Es preveu que molts d'aquests estudis es publiquin pròximament. Tot i que

aquests resultats gaudiran de gran interès científic, no poden guiar els metges per aconsellar els pacients. A més de les limitacions inherents de l'assessorament genètic i, de fet, de qualsevol mesura preventiva relacionada amb els efectes del medi ambient sobre la salut.

Limitacions inherents del tractament preventiu. La contribució dels fàrmacs, vitamines o variants genètiques simples a l'augment o reducció dels efectes de la contaminació ambiental és incerta, però no s'espera que sigui de gran importància. A diferència de les estratègies que tenen a veure amb el problema mediambiental i l'exposició *per se*, l'actuació preventiva individual continuarà sent limitada, costosa i ineficient a llarg termini.

En resum, el centre de la prevenció ha de ser millorar la qualitat de l'aire ambiental. La resta d'accions és menys eficient i insostenible i canvia la càrrega d'acció de les causes als individus. Les estratègies individuals acostumen a actuar únicament en els efectes aguts, de manera que els efectes a llarg termini poden aparèixer igualment. L'enfocament individual suposa problemes de compliment terapèutic i aplicabilitat. Això fa créixer la injustícia mediambiental, en tant que la gent amb pocs recursos econòmics té infinitament menys possibilitats d'adoptar estratègies de prevenció personals.

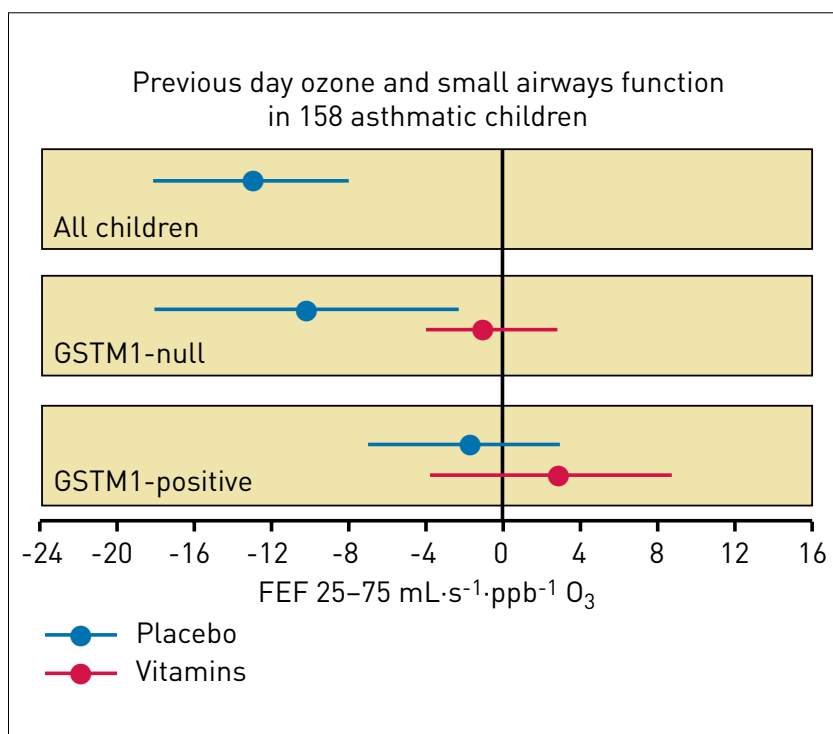



Figura 9.1. Relació entre la funció de les vies respiratòries petites, indicada per FEF25-75, i les concentracions d'ozó a l'ambient (el dia anterior) en 158 nens asmàtics que participaven en un estudi d'intervenció controlat de 18 mesos de duració. Les relacions foren particularment intenses entre els que no prenen cap suplement antioxidant. A més, els efectes de l'ozó també foren molt més intensos en aquells amb una variant no funcional del gen GSTM, important en els mecanismes de defensa oxidatius. Modificat a partir de [10, 49].



10. ANNEX 1: NORMATIVA SOBRE EMISSIONS I QUALITAT DE L'AIRE A EUROPA

Marc normatiu sobre les emissions a Europa

A la Unió Europea, per als Estats membres, la directiva sobre els sostres nacionals d'emissions (directiva NEC —National Emission Ceilings— 2001/81/CE) imposa sostres d'emissions (o límits) per a quatre contaminants atmosfèrics clau (NO_x , SO_x , COV sense metà i NH_3) que són nocius per a la salut i per al medi ambient. La proposta per a esmenar aquesta directiva encara és a les fases de preparació i ha d'establir els límits que el 2020 s'hauran de respectar per a les quatre substàncies ja regulades i, a més a més, per a les emissions primàries de $\text{PM}_{2.5}$. La revisió també tindrà en compte la legislació de la Unió Europea per a determinades categories de fonts, com ara la regulació sobre emissions Euro 5/6 per a motors de vehicles lleugers i pesants, la revisió de la directiva sobre prevenció i el control integrats de la contaminació (IPPC, integrated pollution prevention and control) (directiva 2008/1/CE) i la decisió del Consell Europeu de març de 2007 per a reduir les emissions dels gasos d'efecte hivernacle en un 20% i per a aconseguir el 20% d'energia renovable el 2020. Per tal d'assolir els nivells d'emissions de la directiva NEC, la legislació actual de la Comunitat Europea inclou una directiva relativa a la reducció d'emissions de grans instal·lacions de combustió i altres directives recents sobre les emissions dels vehicles, la qualitat de la gasolina i del gasoil i el contingut de sofre en certs combustibles líquids. Una directiva sobre l'emmagatzematge i distribució del petroli i la directiva sobre la reducció de les emissions en l'ús industrial de dissolvents orgànics, ambdues amb l'objectiu de limitar les emissions de COV. El 21 de desembre de 2007, la Comissió adoptà una proposta de directiva sobre les emissions industrials (IED, Directive on industrial emissions). La proposta agrupa set directives existents relacionades amb les emissions industrials en un únic instrument legislatiu clar i coherent. En aquesta agrupació s'inclou en particular la directiva IPPC.

Taula A1.1. Objectius de reducció d'emissions per a la Unió Europea i els seus estats membres sota les directrius de la UE (NECD, 2001) i UNECE CLRTAP

DIRECTIVA UE (NECD, 2001)	REDUCCIÓ D'EMISSIONS REQUERIDA	PERÍODE DE TEMPS ¹
SO ₂	63%	1990–2010
NO _x (com a NO ₂)	41%	1990–2010
COV (diferents del metà)	46%	1990–2010
NH ₃	17%	1990–2010

NECD: Directiva sobre sostres nacionals d'emissions; UNECE-CLRTAP: Comissió Econòmica de les Nacions Unides per a Europa (United Nations Economic Commission for Europe) – conveni europeu sobre la contaminació atmosfèrica transfronterera a gran distància; UE: Unió Europea; ¹El primer any del període és l'any de referència. Font: CE, 2001c; UNECE, 1999.

A l'àmbit internacional, els sostres d'emissions de contaminants atmosfèrics també estan dirigits per la Comissió Econòmica de les Nacions Unides per al conveni europeu sobre la contaminació atmosfèrica transfronterera a gran distància (el conveni LRTAP) i els seus protocols. Al protocol de Gotemburg “multicontaminant” d'acord amb el conveni LRTAP consten sostres d'emissions nacionals que són iguals o menys ambiciosos que els de la directiva NEC. Tot i que els EUA han ratificat el conveni LRTAP, en l'àmbit nacional no s'ha proposat cap objectiu en torn als límits d'emissions. No obstant això, el contribuïdor a la contaminació atmosfèrica més important dels EUA són els vehicles de motor, i tant les regulacions federals com les de Califòrnia limiten les emissions dels tubs d'escapament de cinc contaminants: hidrocarburs, NO_x, monòxid de carboni, PM i formaldehid. En aquests moments, el diòxid de carboni no s'està regulant directament.

MARC NORMATIU SOBRE LA QUALITAT DE L'AIRE A EUROPA

La normativa sobre la qualitat de l'aire a Europa és legislada pel marc legal sobre qualitat atmosfèrica de la

Unió Europea (UE). Aquesta legislació ha establert uns estàndards i objectius basats en la salut per a determinats contaminants. En concret, la directiva 1999/30/CE del Consell estableix els valors límits de SO₂, NO₂ i NO_x, PM₁₀ i plom (Pb) a l'aire. Aquesta directiva es coneix com a “*First Daughter Directive*” (“directiva primera filla”). Descriu els límits numèrics i els llistats necessaris per a avaluar i gestionar la qualitat de l'aire en referència als contaminants esmentats.

Recentment, la UE adoptà una nova directiva relativa a la qualitat de l'aire ambient i a una atmosfera més neta en Europa (directiva 2008/50/CE). És la primera directiva de la UE que inclou límits per a les concentracions ambientals de PM_{2.5} (material particulat fi). A més, exigeix reduir l'exposició a PM_{2.5} en àrees urbanes en un 20% de mitjana per al 2020 a partir dels nivells de 2010. La directiva també preveu la possibilitat de reduir les fonts naturals de contaminació en avaluar el compliment en funció dels valors límits i durant períodes de tres anys (PM₁₀) o de fins a cinc anys (NO₂, benzè) per a assolir els valors límits, basats en les condicions i en l'avaluació de la Comissió Europea. Aquesta nova directiva consolida diferents parts de la legislació existent sobre qualitat de l'aire en una única directiva. Als governs se'ls ha donat

dos anys (des de l'11 de juny de 2008) perquè adequin la seva legislació a les disposicions de la directiva.

Tot i que la nova directiva sobre la qualitat de l'aire és un pas endavant per a reduir la contaminació atmosfèrica a Europa, científics experts en la salut mediambiental subratllen que les proves científiques exigeixen regulacions molt més estrictes. El nou valor límit de PM_{2.5} de la UE no serà l'adient per a protegir la salut pública. A més, l'exclusió de tots els PM "naturals" a l'hora d'avaluar-ne el compliment, s'ha fet sense cap prova científica i posa en perill la protecció de la salut pública en relació amb el PM₁₀. La nova directiva estableix com a objectius valors menys estrictes que els adoptats per diversos Estats membres de la UE, o dels EUA, per exemple. A més, tampoc segueix les directrius desenvolupades per l'Organització Mundial de la Salut el 2005. Aquestes directrius de l'OMS no són estàndards ni criteris legalment vinculants, però foren dissenyades com a guia per als responsables polítics sobre com reduir els impactes sobre la salut de la contaminació atmosfèrica basant-se en l'avaluació dels experts i en les proves científiques actuals.

A la taula següent es presenta una comparació de l'objectiu actual de la UE amb algunes directrius i regulacions d'Europa, EUA i el Japó.

Taula A1.2. Objectius legals per a una atmosfera neta establerts per diferents autoritats.

Font	SO ₂ µg·m ⁻³			NO ₂ µg·m ⁻³			PM ₁₀ µg·m ⁻³		PM _{2.5} µg·m ⁻³		Ozó µg·m ⁻³		
	1 any	24 hrs	1 hora	10 min	1 any	24 hrs	1 hora	1 any	24 hrs	1 any	24 hrs	8 hrs	1 hora
OMS [21]		20		500	40		200	20	50 ^a	10	25 ^a	100	
Unió Europea (revisat el 2008) [50]		125 ^a	350 ^f		40		200 ^e	40	50 ^b	25		120 ^f	
Suïssa [51]	30	100 ^d			30	80 ^d		20	50 ^d				120 ^d
França [52]	50	125 ^a	350 ^f		40		200 ^e	40	50 ^b				
Suècia [53]		100	200		40	60	90	40	50				
RU [54]		125 ^a	350 ^f	266 ^b	40		200 ^e	40	50 ^b	25		100	
Japó [55]		105	262			113			100				118 ^c
EUA [56]	78	366			100			50	150	15	65	157	
Califòrnia [57]		105 ^c	655				470 ^c	20	50	12	65	137	180 ^c

^a: No es pot excedir més de 3 dies per any; ^b: No es pot excedir més de 35 dies per any; ^c: Oxidants fotoquímics; ^d: No es pot excedir més d'un cop per any; ^e: No es pot excedir més de 18 cops per any; ^f: No es pot excedir més de 24 cops per any. Modificat a partir de [21].



ANNEX 2: CONTAMINANTS I ELS SEUS EFECTES

Aquest annex ofereix una perspectiva sobre contaminants específics pel que fa a la seva toxicitat i als seus efectes sobre la salut. Es limita a l'ozó, òxids de nitrogen, material particulat, gasos d'escapament dièsel i monòxid de carboni. Resumeix els resultat principals dels estudis experimentals recollits a l'informe de l'OMS sobre directrius de qualitat atmosfèrica [21].

INTRODUCCIÓ

L'entrada d'un contaminant a les vies respiratòries depèn del tipus de contaminant i, a la llarga, pot tenir determinats efectes sobre la salut. El lloc d'absorció d'un gas inhalat està relacionat amb la seva solubilitat en aigua. Quant menys soluble en aigua és un gas, més profundament penetrarà a l'arbre respiratori. Per tant, el diòxid de sofre s'absorbeix principalment en les vies respiratòries de conducció mentre que l'ozó i el diòxid de nitrogen s'escampen per les vies respiratòries baixes i penetren en els alvèols. La profunditat de la penetració del material particulat depèn de la seva mida. Les partícules de més de 10 µm romanen en les zones humides de la boca i el nas, les partícules més petites penetren en les vies respiratòries, i les partícules més petites de 2-3 µm entren a la regió alveolar. Els macròfags alveolars no eliminen tan bé les partícules molt petites, anomenades ultrafines (<0,1 µm), com les partícules més grans, i romanen més temps en la regió alveolar. A més, la seva superfície es molt més gran en comparació amb la superfície d'una massa equivalent de partícules més grans. Aquesta gran superfície facilita l'absorció i dissolució de gasos i de materials solubles com ara sals, àcids o metalls de transició.

Es creu que l'estrès oxidatiu és el mecanisme principal que causa inflamació local i sistèmica després d'haver inhalat contaminants. Un primer pas podria ser la

generació d'espècies reactives de l'oxigen en les cèl·lules pulmonars a partir del contacte amb el nucli de carboni de les partícules inhalades, on s'han adsorbit substàncies tòxiques com sulfats, nitrats i metalls. Dins els marcadors de la inflamació local de les vies respiratòries s'inclouen cèl·lules inflamatòries com els neutròfils i els macròfags en l'esput induït i la rentada broncoalveolar, concentracions proteiques, citocines com les interleucines IL-6, IL-8, IL-10, molècules d'adhesió cel·lular i TNF-α. Un marcador no invasiu en els casos de més inflamació, especialment en asmàtics vinculats a més amb els nivells de contaminació, és l'òxid nítric exhalat durant la respiració. La inflamació local pot ser la causa de l'augment en la capacitat de resposta de les vies respiratòries segons el que demostren estudis clínics sobre diversos contaminants. En pacients asmàtics, l'empitjorament de la inflamació pot augmentar la capacitat de resposta de les vies respiratòries davant els al·lèrgens. Això ha estat demostrat en el cas de l'ozó i s'ha suggerit també per a les partícules.

La propagació de la inflamació a la circulació pot originar-se pel transport de mediadors com ara citocines i cèl·lules inflamatòries a través de l'epiteli alveolar fins a la sang. Els resultats en estudis amb animals demostren que les partícules ultrafines entren en la circulació i poden inflamar el teixit endotelial, provocar canvis en els paràmetres de coagulació i efectes en altres òrgans diana. El trasllat de partícules a la circulació encara no

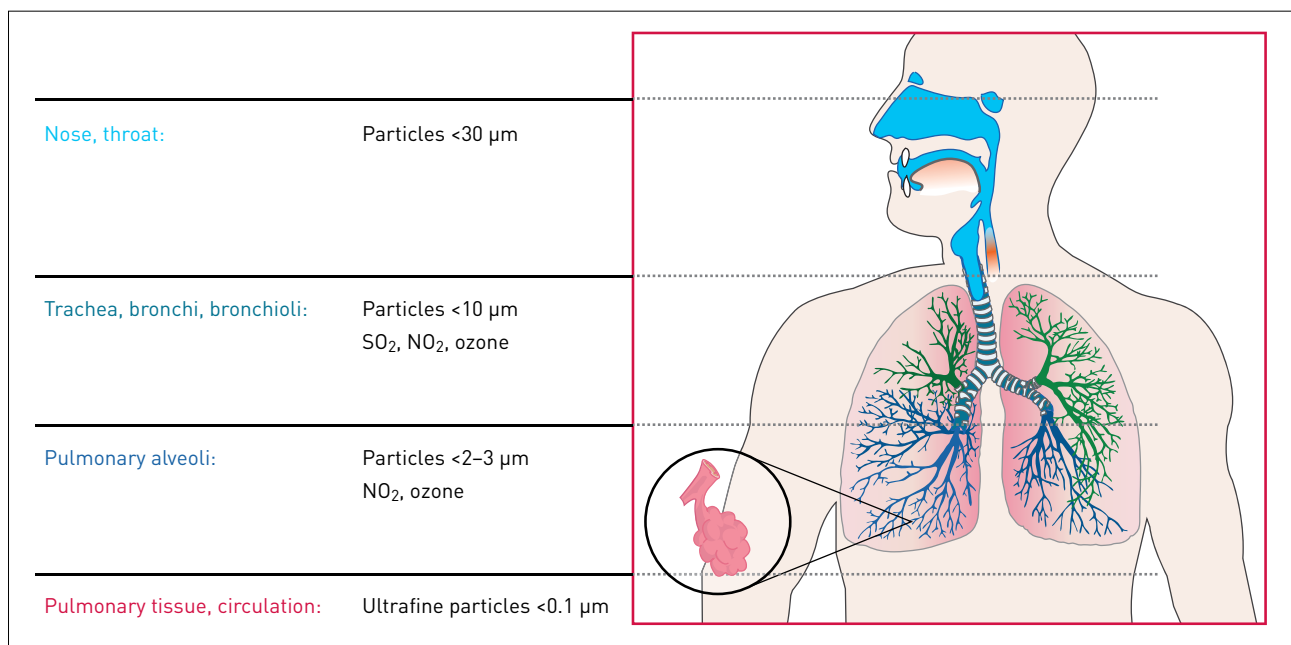


Figura A2.1. Profunditat de penetració dels contaminants en les vies respiratòries.

Table A2.1. General pathophysiological effects of inhaled pollutants

TRÀQUEA, BRONQUIS	<p>Irritació de les membranes mucoses, inflamació local, canvis en els compostos mucosos, immigració de cèl·lules inflamatòries i de defensa immunològica</p> <p>Deteriorament de l'activitat ciliar, deteriorament en el procés de depuració epitelial, p. ex. el transport ascendent de partícules, bacteris, etc.</p> <p>Broncoconstricció per espasmes musculars i per inflamació de les mucoses</p>
ALVÈOLS PULMONARS	<p>Deteriorament de la capacitat de les cèl·lules immunitàries de ingerir i dissoldre material forà i residus</p> <p>Inflamació local, variació en la permeabilitat de les membranes cel·lulars</p> <p>Transferència de proteïnes inflamatòries i partícules ultrafines en el teixit i la circulació pulmonars</p>
CIRCULACIÓ	<p>Inflamació als teixits endotelials dels vasos sanguinis, augment de la formació de plaques, coagulació, trombosi</p> <p>Variació en la regulació del sistema nerviós autònom, p. ex. variabilitat de la freqüència cardíaca</p>

s'ha demostrat satisfactòriament en humans. Actualment s'està estudiant fins a quin punt les partícules poden entrar en òrgans com ara el ronyó, el cor o el cervell.

OZÓ (O₃)

L'ozó és un gas altament reactiu i un irritant molt potent amb gran activitat oxidativa a les vies respiratòries. Reacciona amb els antioxidants del fluid de revestiment epitelial (principalment glutatió, àcid ascòrbic, àcid úric, albúmina i tocoferol) i pot comportar un exhauriment d'antioxidants i la descompensació entre oxidants i antioxidants del fluid extracel·lular i de les cèl·lules, el que s'anomena estrès oxidatiu. Això comporta oxidació i variacions estructurals a les molècules i origina productes reactius d'origen proteic i lipídic. Les reaccions de radical lliure indueixen la cascada d'inflamació en les vies respiratòries, com ara un augment dels leucòcits polimorfonuclears, albúmina, proteïna total, citocines (p. ex. la interleucina-6), LDH i mieloperoxidasa.

Un ampli ventall d'estudis controlats en humans han demostrat sistemàticament un deteriorament en la

funció pulmonar després d'una breu exposició a l'ozó a nivells de 120 µg·m⁻³ durant 6,6 hores d'exposició. Aquests efectes són anàlegs als símptomes respiratoris i a l'augment de la reactivitat bronquial. La gravetat de la resposta depèn de la concentració d'ozó, de la durada de l'exposició i de la freqüència respiratòria, o de l'activitat física, dels individus. Les variacions són reversibles però poden durar fins a 24 hores un cop finalitzada l'exposició.

Hi ha gran variació individual en la resposta a l'ozó, la qual encara no es comprèn del tot. Dins el context clínic, la capacitat de resposta dels símptomes i els canvis de la funció pulmonar fou més accentuada en joves adults. Fou menor en gent gran, a diferència d'estudis en sèries temporals sobre la mortalitat, on les relacions a curt termini amb l'ozó eren més consistents en persones d'edat avançada. Els polimorfismes en els gens que codifiquen els mecanismes de defensa oxidants (p. ex. en els gens glutatió-S-transferasa o els gens TNF) també poden aportar més susceptibilitat. Altres factors que fan augmentar la sensibilitat a l'ozó poden ser malalties respiratòries preexistents com ara l'asma, mecanismes immunològics deteriorats i l'exposició concomitant a altres contaminants o al·lèrgens. La gent

amb bronquitis crònica i els fumadors no solen veure's més afectats, i no tots els asmàtics mostren una resposta més forta. No obstant això, molta o la major part de la gent amb asma extrínseca mostra una resposta més intensa a l'al·lergogen inhalat després d'una exposició anterior a l'ozó.

En comparació amb els efectes de l'ozó en els estudis panel, els efectes en les exposicions controlades són menors. S'ha suggerit que una raó podria ser l'exposició total més prolongada a l'ambient: no limitada a 8 hores, o fins i tot 1 hora amb la concentració diària màxima. Una altra raó podria ser l'exposició concomitant amb altres oxidants durant episodis de smog fotoquímic. Després de diverses exposicions repetides, la resposta de la funció pulmonar a l'ozó disminueix, però aquesta anomenada *adaptació* desapareix en uns dies sense exposar-se a l'ozó.

MATERIAL PARTICULAT (PM)

El PM en ambients urbans i rurals és una mescla complexa de components que tenen característiques químiques i físiques varies. Estudis experimentals han demostrat que el PM *per se* pot ser responsable de molts dels efectes sobre la salut observats en estudis de la població.

En primer lloc, alguns estudis en humans sobre l'exposició controlada han demostrat que el PM de l'ambient té efectes directes en les vies respiratòries. Aquests efectes principalment impliquen una resposta inflamatòria, l'exacerbació d'una malaltia respiratòria existent (p. ex. la hiperreactivitat) o el deteriorament dels mecanismes de defensa pulmonars. Inhalar PM pot, per tant, augmentar la producció d'immunoglobulines antígen específiques, alterar la reactivitat de les vies respiratòries als antígens o afectar la capacitat dels pulmons d'enfrontar-se als bacteris cosa que suggereix que l'exposició a aquest es pot traduir en un augment de la susceptibilitat a la infecció microbiana. En els últims anys, estudis amb material particulat atmosfèric concentrat (CAP, concentrated ambient air particulate matter) també s'han centrat en criteris de valoració cardiovasculars. L'avantatge d'aquests estudis és que fan servir l'exposició que s'acosta més a les condicions reals que a les dels estudis experimentals. Les exposicions breus de voluntaris i d'animals de laboratori a concentracions properes al límit superior dels nivells atmosfèrics de PM actuals, s'han relacionat amb variacions estadísticament significants en la freqüència cardíaca, la variabilitat de la freqüència cardíaca, batecs cardíacs anormals, arítmies i variacions de flux en la circulació

de les artèries braquials. Quan es podien consultar les dades composicionals, aquests efectes estaven estretament relacionats amb els components inorgànics, p. ex. Carbó elemental i metalls traça.

En estudis amb animals, les exposicions subcròniques a partícules atmosfèriques a concentracions mitjanes a llarg termini que s'aproximaven als estàndards actuals de PM_{2.5} dels EUA de 15 µg·m⁻³, han provocat canvis persistents en la freqüència cardíaca, variabilitat de la freqüència cardíaca, augment de la mida de la placa aòrtica, variacions en la distribució i funció de les cèl·lules cerebrals; esteatosi hepàtica; i progressió de la síndrome metabòlica. Els resultats cardiopulmonars donen versemblança, des del punt de vista biològic, a la relació observada entre els resultats cardiovasculars, incloent-hi la formació de placa ateroscleròtica i la contaminació atmosfèrica, detectada en nombrosos estudis epidemiològics.

GASOS D'ESCAPAMENT DE MOTORS DIÈSEL

Els vehicles dièsel contribueixen significativament a l'exposició a partícules i gasos de les zones urbanes. En estudis clínics amb voluntaris exposats a gasos d'escapament de motor dièsel diluïts i a aire filtrat durant 1 o 2 hores, la funció pulmonar en general no canvià en els individus sans, mentre que en els asmàtics augmentà la reactivitat bronquial. Alhora, els gasos d'escapament dièsel induïren inflamació neutrofília amb un augment en la secreció de citocines i el nombre de neutròfils. En la dosi de partícules més baixa, aquestes reaccions es van limitar als bronquis, mentre que a la regió alveolar, la mateixa dosi inhalada es traduí en un augment de la producció de substàncies antioxidants, fet que suggereix que això constitueix la primera línia de defensa. Dos estudis recents amb voluntaris joves i sans demostraren que el gas d'escapament dièsel i l'ozó tenen efectes additius en la inflamació de les vies respiratòries.

Estudis clínics també han demostrat que, en concret, la gent al·lèrgica pot córrer risc per exposicions a gasos d'escapament dièsel mitjançant diferents mecanismes. En primer lloc, els al·lèrgogens del pol·len poden unir-se a les partícules dièsel i facilitar-ne, així, el transport i la deposició a les vies respiratòries. En segon lloc, a partir d'experiments en animals se sap que la inflamació al·lèrgica s'accentua per la interacció entre les partícules del gas d'escapament dièsel i sistema immunitari. La secreció d'espècies reactives de l'oxigen pels macròfags

activats pel gasoil podrien tenir un paper important en aquest procés. La gent amb variants en el genotip glutatió-transferasa tenen menys capacitat per a destoxicar les espècies reactives de l'oxigen i pot veure's més afectada per l'exacerbació dels símptomes al·lèrgics induïda per partícules procedents del gasoil.

Alguns estudis clínics recents s'han centrat en els efectes del gas d'escapament dièsel en la salut cardiovascular, amb resultats interessants. Les persones joves i sanes no mostraren variació en la pressió arterial, freqüència cardíaca o variabilitat de la freqüència cardíaca després d'haver estat exposades a gas d'escapament dièsel diluït, però mostraren signes de disfunció vascular i alteracions de la fibrinòlisi. Algunes variacions perduraren fins a 24 hores després de l'exposició. De manera similar, en pacients amb malalties coronàries, la pressió arterial i la freqüència cardíaca no eren diferents entre l'exposició al gas d'escapament dièsel i a l'aire filtrat, però en els períodes d'exercici que tenien lloc durant l'exposició al gas d'escapament dièsel s'observaren depressions del segment S-T significativament més grans. A diferència dels subjectes sans, no s'observaren canvis en la funció vascular, mentre que també variaren alguns indicadors de la fibrinòlisi.

DIÒXID DE NITROGEN (NO₂)

El NO₂ és un gas vermellós i d'olor acre quan es troba a concentracions per sobre de diversos centenars de µg·m⁻³. Reacciona amb compostos orgànics en la superfície de l'epiteli respiratori i entra a la circulació principalment com a nitrit (NO₂⁻). En animals, en poques ocasions s'ha observat que les exposicions de fins a 1 de NO₂ tinguin efectes. Les exposicions subcròniques i cròniques (de setmanes a mesos) a nivells baixos causaren diferents efectes, com ara alteracions en el metabolisme, estructura i funcionament dels pulmons, així com inflamació i major susceptibilitat a infeccions pulmonars. Ateses les diferències inherents entre les espècies de mamífers i la manca d'informació disponible sobre la resposta tissular de diferents espècies a una dosi determinada de NO₂, és difícil extrapolar quantitativament els efectes causats per una dosi o concentració inhalada específica en els humans.

Els estudis d'exposició controlada en humans que investigaven els efectes del NO₂ es feien servir com a base per a establir el valor de referència actual de 200 µm·m⁻³ per a 1 hora, segons l'OMS. Aquests estudis demostren els efectes sobre la salut a nivells més baixos amb més

coherència en el cas de pacients asmàtics que no en el de no asmàtics. En pacients asmàtics, les concentracions de diòxid de nitrogen tan baixes com 380-560 µg·m⁻³ durant períodes d'una hora o més, poden augmentar la broncoconstricció, la reacció a al·lèrgens i un ventall de respostes en el pulmó que suggereixen la inflamació de les vies respiratòries i l'alteració de les defenses immunològiques pulmonars.

En adults sans, calen concentracions de NO₂ per sobre dels 1.880 µm·m⁻³ (1,0 ppm) per a provocar canvis en la funció pulmonar.

MONÒXID DE CARBONI (CO)

El CO és un gas inodor, incolor i insípid que forma un enllaç amb l'hemoglobina amb una afinitat 250 cops superior a la de l'oxigen per a formar carboxihemoglobina (COHb). La COHb és també un producte endogen del metabolisme, amb nivells en gent sana de fins a 1,4%. La febre o determinats medicaments poden elevar aquest nivell fins al 4%; fumar també augmenta els nivells de COHb en funció de la dosi. A diferència d'altres gasos, els efectes adversos sobre la salut vinculats a l'exposició a CO no estan relacionats amb la lesió pulmonar. La COHb interfereix amb la capacitat de la sang per a transportar oxigen, i causa efectes adversos principalment en el cervell i en el cor. Per tant, l'exposició a nivells alts de monòxid de carboni (per sobre de 580 µg·m⁻³) pot causar insuficiència respiratòria i la mort. En estudis clínics, les exposicions a nivells baixos de CO causen efectes adversos sobre la salut en persones amb una coronariopatia quan fan exercici. En aquests estudis, els nivells de COHb de 2-6% s'han relacionat amb criteris de valoració cardiovasculars com ara l'escurçament del temps d'aparició de l'angina de pit. Això pot limitar les activitats diàries en individus susceptibles i pot afectar la seva qualitat de vida. Altres estudis clínics han suggerit que l'exposició a CO pot augmentar el risc de mort sobtada per arítmia. L'exposició contínua a nivells inferiors a 10 µg·m⁻³ no haurien de causar nivells de COHb >2% en persones no fumadores sanes.

La recerca experimental en animals suggereix que l'exposició baixa a CO pot estar relacionada amb el desenvolupament de l'aterosclerosi.

11.

ABREVIACIONS

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Micrograms per metre cúbic	GSTM1	Gen glutatió-S-transferasa Mu 1
95%IC:	Interval de confiança del 95%	HIA	Avaluació de l'impacte sobre la salut (Health Impact Assessment)
ACS	Estudi de la Societat nord-americana del càncer (American Cancer Society)	LRTAP	Contaminació atmosfèrica transfronterera a gran distància (Long-Range Transboundary Air Pollution)
APHEA	Contaminació atmosfèrica i salut: un enfocament europeu (Air Pollution and Health - A European Approach)	MPOC	Malaltia pulmonar obstructiva crònica
APHEIS	Contaminació atmosfèrica i salut: un sistema d'informació europeu (Air Pollution and Health: a European Information System)	NH ₃	Amoníac
APHEKOM	Millorer knowledge i la comunicació per a le presa de decisions sobre la contaminació atmosfèrica i salut a Europa	NO ₂	Diòxid de nitrogen
AVAD	anys de vida ajustats per discapacitat	O ₃	Ozó
CAFE	Aire pur per a Europa (Clean Air for Europe)	OMS	Organització Mundial de la Salut
CMM	Càrrega mundial de morbiditat	OR	Oportunitat relativa
CO	Monòxid de carboni	Pb	Plom
CO ₂	Diòxid de carboni	PM	Material particulat
COP	Contaminant orgànic persistent	PM10	Material particulat amb un aerodiàmetre <10 micròmetres
COV	Compostos orgànics volàtils	PM10-2.5	Material particulat amb un aerodiàmetre d'entre 10 i 2,5 μm
CVF	Capacitat vital forçada (Forced Vital Capacity)	PM2.5	Material particulat amb un aerodiàmetre <2,5 μm
Directiva NEC	Directiva sobre sostres nacionals d'emissions (National Emission Ceilings)	PTS	Partícules totals en suspensió
EC	Carbo elemental	RR	Risc relatiu
EPA	Agència de protecció ambiental dels EUA (Environmental Protection Agency)	SO ₂	Diòxid de sofre
FCR	Funció concentració resposta	UE	Unió Europea
FEF ₂₅₋₇₅	Flux espiratori forçat mitjà	UF	Partícules ultrafines (Ultrafine Particles)
FN	Fum negre	UNECE	Comissió Econòmica de les Nacions Unides per a Europa (United Nations Economic Commission for Europe)
		VEF ₁	Volum espiratori forçat en 1 s (Forced Expiratory Volume)



12.

BIBLIOGRAFIA

1. Lifting the Smokescreen: 10 Reasons for a Smoke Free Europe. Brussels, Smoke Free Partnership, 2006. Available at: www.ersnet.org/ers/show/default.aspx?id_attach=13509
2. Torres-Duque C, Maldonado D, Pérez-Padilla R, *et al.* Biomass fuels and respiratory diseases: a review of the evidence. *Proc Am Thorac Soc* 2008; 5: 577–590.
3. EEA. Annual European Community LRTAP Convention emission inventory report 1990–2006. European Environmental Agency technical report No 7/2008. Available at: www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2008_7
4. Airbase. Airbase database. <http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/airbase>. Date last accessed February 10, 2009.
5. EEA. Air quality in Europe 1990–2004. European Environmental Agency report No 2/2007. Available at: <http://themes.eea.europa.eu>
6. EEA. Spatial assessment of PM₁₀ and ozone concentrations in Europe (2005). European environmental agency report n°1/2009. Available at: www.eea.europa.eu
7. Romieu I, Garcia-Esteban R, Sunyer J, *et al.* The effect of supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids on markers of oxidative stress in elderly exposed to PM(2.5). *Environ Health Perspect* 2008; 116: 1237–1242.
8. Sun Q, Wang A, Jin X, *et al.* Long-term air pollution exposure and acceleration of atherosclerosis and vascular inflammation in an animal model. *JAMA* 2005; 294: 3003–3010.
9. Gilliland FD, Li YF, Saxon A, *et al.* Effect of glutathione-S-transferase M1 and P1 genotypes on xenobiotic enhancement of allergic responses: randomised, placebo-controlled crossover study. *Lancet* 2004; 363: 119–125.
10. Romieu I, Sienna-Monge JJ, Ramírez-Aguilar M, *et al.* Antioxidant supplementation and lung functions among children with asthma exposed to high levels of air pollutants. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 703–709.
11. Berglind N, Bellander T, Forastiere F, *et al.* Ambient air pollution and daily mortality among survivors of myocardial infarction. *Epidemiology* 2009; 20: 110–118.

12. Hancock DB, Romieu I, Shi M, *et al.* Genome-wide association study implicates chromosome 9q21.31 as a susceptibility locus for asthma in Mexican children. *PLoS Genet* 2009; 5: e1000623.
13. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, *et al.* Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 2002; 360: 1203–1209.
14. National Research Council. US National Academy of Science Committee. Estimating the Public Health Benefits of Proposed Air Pollution Regulations. Washington DC, National Academies Press, 2002. Available at: www.nap.edu/catalog.php?record_id=10511
15. US Environmental Protection Agency. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Research Triangle Park, National Center for Environmental Assessment, 2004. EPA/600/P-99/002bF. Available at: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=87903>
16. US Environmental Protection Agency. Provisional Assessment of Recent Studies on Health Effects of Particulate Matter Exposure. Research Triangle Park, National Center for Environmental Assessment, 2006. EPA/600/R-06/063. Available at: www.epa.gov/pm/pdfs/ord_report_20060720.pdf
17. Brunekreef B. Health effects of air pollution observed in cohort studies in Europe. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007; 17: Suppl. 2, S61–S65.
18. Braun-Fahrlander C, Vuille JC, Sennhauser FH, *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: 1042–1049.
19. Ackermann-Lieblich U, Leuenberger P, Schwartz J, *et al.* Lung function and long term exposure to air pollutants in Switzerland. Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (SAPALDIA) Team. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 122–129.
20. Hoffmann B, Moebus S, Möhlenkamp S, *et al.* Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis. *Circulation* 2007; 116: 489–496.
21. World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02. Available at: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
22. National Research Council. Estimating Mortality Risk Reduction and Economic Benefits from Controlling Ozone Air Pollution. 2008, Committee on Estimating Mortality Risk Reduction Benefits from Decreasing Tropospheric Ozone Exposure, National Research Council. Washington DC, National Academies Press, 2008. ISBN-10: 0-309-11994-4. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12198
23. Gilliland FD. Outdoor air pollution, genetic susceptibility, and asthma management: opportunities for intervention to reduce the burden of asthma. *Pediatrics* 2009; 123: Suppl. 3, S168–173.
24. Health Effects Institute. HEI panel on the health effects of traffic-related air pollution. Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects. HEI special report 17. Boston, Health Effects Institute, 2010. Available at: <http://pubs.healtheffects.org/view.php?id=334>
25. Kunzli N, Perez L. Evidence based public health - the example of air pollution. *Swiss Med Wkly* 2009; 139: 242–250.
26. van Erp A, Cohen A. HEI's Research Program on the Impact of Actions to Improve Air Quality: Interim Evaluation and Future Directions. Communication 14. Boston, Health Effects Institute, 2009. Available at: <http://pubs.healtheffects.org/view.php?id=326>

27. van Erp AM, O'Keefe R, Cohen AJ, *et al.* Evaluating the effectiveness of air quality interventions. *J Toxicol Environ Health A* 2008; 71: 583–587.
28. Ghio AJ, Devlin RB. Inflammatory lung injury after bronchial instillation of air pollution particles. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 704–708.
29. Pope CA. Respiratory hospital admissions associated with PM10 pollution in Utah, Salt Lake, and Cache Valleys. *Arch Environ Health* 1991; 46: 90–97.
30. Dye JA, Lehmann JR, McGee JK, *et al.* Acute pulmonary toxicity of particulate matter filter extracts in rats: coherence with epidemiologic studies in Utah Valley residents. *Environ Health Perspect* 2001; 109: Suppl. 3, 395–403.
31. Heinrich J, Hoelscher B, Frye C, *et al.* Improved air quality in reunified Germany and decreases in respiratory symptoms. *Epidemiology* 2002; 13: 394–401.
32. Avol EL, Gauderman WJ, Tan SM, *et al.* Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 2067–2072.
33. Clancy L, Goodman P, Sinclair H, *et al.* Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *Lancet* 2002; 360: 1210–1214.
34. Schindler C, Keidel D, Gerbase MW, *et al.* Improvements in PM10 exposure and reduced rates of respiratory symptoms in a cohort of Swiss adults (SAPALDIA). *Am J Respir Crit Care Med* 2009; 179: 579–587.
35. Bayer-Oglesby L, Grize L, Gassner M *et al.* Decline of ambient air pollution levels and improved respiratory health in Swiss children. *Env Health Perspect* 2005; 113: 1632–1637.
36. Downs SH, Schindler C, Liu LJ, *et al.* Reduced exposure to PM10 and attenuated age-related decline in lung function. *N Engl J Med* 2007; 357: 2338–2347.
37. Wang W, Primbs T, Tao S, *et al.* Atmospheric particulate matter pollution during the 2008 Beijing Olympics. *Environ Sci Technol* 2009; 43: 5314–5320.
38. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, *et al.* Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA* 2001; 285: 897–905.
39. Kunzli N, Kaiser R, Medina S, *et al.* Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000; 356: 795–801.
40. Clean Air For Europe (CAFE). Commission staff working paper. The communication on thematic air pollution and the directive on ambient air quality and cleaner air for Europe. Impact assessment. COM(2005)446 final. <http://ec.europa.eu/environment/air/cale/index.htm>. 2005.
41. Medina S, Boldo E, and contributing members of the APHEIS group. APHEIS: Health Impact assessment of Air Pollution Communication Strategy. Third year report. <http://www.apheis.net/>. ISBN: 2-11-094838-6. 2005.
42. Medina S, Plasencia A, Ballester F, *et al.* APHEIS: public health impact of PM10 in 19 European cities. *J Epidemiol Community Health* 2004; 58: 831–836.

43. Perez L, Sunyer J, Künzli N. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gac Sanit* 2009; 23: 287–294.
44. Cohen A. Mortality impacts of urban air pollution. In: Ezzati M, Lopez AD, Rogers A, *et al.*, eds. Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors, Vol. 2. Geneva, World Health Organization, 2004.
45. WHO. Health Impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. ISBN: 9289022930. Geneva, World Health Organization, 2006.
46. Kunzli N, *et al.* Clinically “small” effects of air pollution on FVC have a large public health impact. Swiss Study on Air Pollution and Lung Disease in Adults (SAPALDIA) - team. *Eur Respir J* 2000; 15: 131–136.
47. Pope CA, *et al.* Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Engl J Med* 2009; 360: 376–386.
48. Grinshpun SA, Haruta H, Eninger RM, *et al.* Performance of an N95 filtering facepiece particulate respirator and a surgical mask during human breathing: two pathways for particle penetration. *J Occup Environ Hyg* 2009; 6: 593–603.
49. Romieu I, Sienna-Monge JJ, Ramírez-Aguilar M, *et al.* Genetic polymorphism of GSTM1 and antioxidant supplementation influence lung function in relation to ozone exposure in asthmatic children in Mexico City. *Thorax* 2004; 59: 8–10.
50. DIRECTIVE 2008/50/EC of the European Parliament and of The Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Available at : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF>
51. OFEFP. La signification des valeurs limites d'immission de l'ordonnance sur la protection de l'air. Cahier de l'environnement N°180. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 1992.
52. Décret, n°2002-213, du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.
53. Environmental Quality Standards. 2007-10-25. Swedish Environmental Protection Agency.
54. Air quality strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland. July 17th 2007. The UK Department for Environment. Available at: http://www.official-documents.gov.uk/document/cm71/7169/7169_i.pdf
55. Environmental quality standards in Japan-air quality. Tokyo, Ministry of the Environment. <http://www.env.go.jp/en/air/eq>. Date last accessed February 10, 2009.
56. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Washington, DC, US Environmental Protection Agency. www.epa.gov/air/criteria.html
57. California ambient air quality standards. Sacramento, CA, California Air Resources Board. www.arb.ca.gov/research/aaqs/caaqs/caaqs.htm



European Respiratory Society Avenue Ste-Luce 4 1003 Lausanne Switzerland
T + 41 21 213 01 01 F + 41 21 213 01 00 E info@ersnet.org W ersnet.org

Autors: Nino Künzli, Laura Perez, Regula Rapp.