

A Science-Policy
Initiative

Air Pollution and Health

Poluição do Ar
e Saúde



Academy of Science
of South Africa



Brazilian Academy
of Sciences



German National Academy
of Sciences Leopoldina



U.S. National Academy
of Medicine



U.S. National Academy
of Sciences

Tradução a partir do inglês: “Poluição do Ar e Saúde. Uma iniciativa político-científica da Academia de Ciência da África do Sul, da Academia Brasileira de Ciências, da Academia Nacional de Ciências da Alemanha Leopoldina, da Academia Nacional de Medicina dos EUA e da Academia Nacional de Ciências dos EUA”. Documento não oficial.

A poluição do ar é uma grande ameaça, evitável e controlável, para a saúde e o bem-estar das pessoas e para o desenvolvimento sustentável. Estima-se que a poluição do ar seja responsável por, pelo menos, 5 milhões de mortes prematuras no mundo todos os anos. Todos somos afetados pela poluição do ar, mas seus impactos adversos recaem com maior intensidade nas populações mais vulneráveis, como crianças, mulheres e pessoas em situação de pobreza – grupos com os quais os Estados têm obrigações especiais nos termos da lei internacional de direitos humanos.

A má qualidade do ar põe em risco a vida humana, a saúde da população e a prosperidade futura das crianças. A poluição do ar também ameaça a sustentabilidade do ambiente do planeta, uma vez que o ar puro é tão vital para a vida como a água potável.

A evidência científica é inequívoca: a poluição do ar pode prejudicar a saúde ao longo de toda uma vida. Provoca doenças, incapacidades e mortes, e afeta a qualidade de vida de todos. Causa danos nos pulmões, no coração, no cérebro, na pele e em outros órgãos e aumenta o risco de doenças e incapacidades, atingindo praticamente todos os sistemas do corpo humano.

Os custos da poluição do ar para a sociedade e para a economia de países de média e baixa renda são enormes. Estas perdas econômicas são tão significativas que podem prejudicar o desenvolvimento sustentável. O crescimento econômico que aceita a poluição do ar e ignora os impactos ambientais e na saúde pública é insustentável e antiético.

A queima de combustíveis fósseis e de biomassa é a maior fonte de poluição do ar a nível global. Estas são também fontes significativas de poluentes atmosféricos de curta duração, como o black carbon, o metano e o ozônio troposférico. São também as principais fontes de emissões de CO₂. Muitas das soluções para os problemas da poluição do ar também terão um impacto positivo na mitigação das mudanças climáticas e podem contribuir consideravelmente para o cumprimento da meta climática de 1,5°C.

Os investimentos públicos e privados no combate à poluição do ar são insuficientes e não estão à altura do problema. Oportunidades para criar sinergias entre o controle da poluição do ar, a mitigação das mudanças climáticas e o desenvolvimento sustentável são muitas, mas não têm sido concretizadas na totalidade.

A poluição do ar é um problema evitável. Mas sem uma ação reiterada, a exposição à poluição atmosférica continuará a ser uma das maiores causas de mortalidade no mundo. Com a poluição do ar associada ao envelhecimento da população, ao crescimento populacional e à urbanização, cada vez mais pessoas irão sofrer e morrer todos os anos.

A poluição do ar pode ser controlada de forma eficiente através da combinação de políticas, legislação, regulamentação, normas e fiscalização associada à implementação de novas tecnologias e ao aumento da sensibilização social. O controle da poluição do ar pode promover o crescimento econômico e beneficia as economias nacionais ao evitar doenças e prevenir perdas de produtividade.

As Academias Nacionais de Ciências e Medicina da África do Sul, do Brasil, da Alemanha e dos Estados Unidos clamam aos líderes dos governos, às empresas e aos cidadãos que atuem com urgência na redução da poluição do ar em todo o mundo – para benefício da saúde e do bem-estar das pessoas, para benefício do ambiente e como condição

para o desenvolvimento sustentável. A poluição do ar é um aspecto transversal a muitos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

As nossas cinco Academias Nacionais de Ciências e Medicina propõem a adoção de um pacto global relativo à poluição atmosférica para tornar o controle e a redução da poluição do ar uma prioridade para todos.

A poluição do ar afeta a saúde de todos

O ar limpo é essencial para a saúde humana e para a vida. Atualmente, a poluição do ar é a maior causa ambiental de doenças e mortes prematuras em todo o mundo. Está associada a, pelo menos, 5 milhões de mortes todos os anos. Enquanto a poluição do ar afeta a todos, o fardo da doença é maior entre os mais pobres, as minorias e os marginalizados.

A poluição do ar afeta as pessoas do início ao fim de suas vidas, causando uma ampla variedade de doenças agudas e crônicas desde as fases iniciais do desenvolvimento das crianças até ao extremo oposto da escala etária. As populações particularmente sensíveis incluem fetos ainda no útero, crianças, idosos, e pessoas com doenças crônicas pré-existentes. Praticamente todos os órgãos, sistemas e processos no corpo humano podem ser impactados: pulmões, coração, cérebro, sistema vascular, metabolismo e reprodução.

A poluição do ar é a principal causa de pneumonia, bronquite e asma em bebês e crianças. Retarda o desenvolvimento dos pulmões em crianças e adolescentes. Contribui para doenças do coração, incluindo arritmias cardíacas e enfarte agudo do miocárdio, derrame, câncer, asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, diabetes, alergias, eczema e envelhecimento da pele. Há evidência cada vez maior de que a poluição do ar contribui para a demência em adultos e impacta o desenvolvimento do cérebro em crianças.

Mulheres em países de baixa renda são desproporcionalmente afetadas pela exposição à poluição do ar residencial proveniente do uso de combustíveis sólidos (carvão e biomassa) ao cozinhar, e elas são as que mais sofrem com as doenças provocadas pela poluição. As mulheres ainda suportam o maior fardo de cuidar de outros membros da família que sofrem com problemas de saúde relacionados à poluição do ar.

Os riscos da poluição do ar variam conforme as sociedades, com a vulnerabilidade diferindo entre os indivíduos. Fatores que afetam a vulnerabilidade individual incluem a idade, o gênero, o nível educacional, o status socioeconômico, a localização e a residência, os combustíveis usados para cozinhar e aquecimento, e a ocupação. Entre os fatores biológicos que aumentam a vulnerabilidade individual estão a suscetibilidade genética e doenças subjacentes, como asma, doenças do coração ou diabetes.

Doenças relacionadas à poluição do ar causam perdas de produtividade que podem reduzir o produto interno bruto (PIB), provocam faltas no trabalho e na escola, e

perpetuam as desigualdades sociais existentes. Estas doenças também geram custos que, nos países em desenvolvimento, podem chegar a 7% do orçamento nacional para a saúde.

Estima-se que as perdas econômicas globais com as doenças provocadas pela poluição do ar (em ambientes fechados e abertos) em 176 países tenham sido de US\$ 3,8 trilhões em 2015. Os benefícios para a saúde e para a economia de medidas que combatam a poluição do ar irão ultrapassar de modo significativo os custos dessas medidas.

Há um imperativo ético de se trabalhar conjuntamente para proteger todas as pessoas dos riscos para a saúde causados pela poluição do ar, que são carregados pela população como uma consequência adversa das ações dos poluidores.

A queima de combustíveis fósseis e de biomassa é a principal fonte da poluição do ar

Os poluentes atmosféricos que suscitam maior preocupação para a saúde humana são as partículas em suspensão. As emissões não filtradas da combustão contêm concentrações significativas de partículas ultrafinas, finas e grandes, incluindo black carbon e gases nocivos à saúde.

A poluição do ar é uma mistura complexa de diferentes componentes. Níveis de particulado fino (concentração em massa de PM_{2.5}) juntamente com o ozônio são componentes que devem ser regulamentados, assim como o black carbon, um indicador das emissões de combustão.

As principais fontes da poluição do ar relacionada à combustão são **A** fontes fixas, **B** aquecimento residencial e cozinhar em casa, **C** queima de biomassa e combustão de resíduos, e **D** fontes móveis, como automóveis e ônibus. A importância relativa destas fontes varia de país para país.

A As fontes fixas incluem centrais de geração de energia, fábricas e indústrias de mineração com ou sem controles de emissão. Unidades que queimam carvão ou outros combustíveis de baixa qualidade ou que dependem de geradores a diesel devido à falta de confiabilidade da rede são geralmente os maiores emissores.

B Residências são uma importante fonte de poluição do ar, especialmente em países de baixa renda que

dependem de combustíveis de biomassa para se aquecer e cozinhar. E também são lugares em que as pessoas tem alto grau de exposição.

C Fontes de combustão de biomassa relacionadas à queima de resíduos agrícolas, à remoção de florestas e à limpeza de terras são importantes causadoras de poluição do ar em países em desenvolvimento. A queima descontrolada de biomassa está relacionada à combustão de resíduos residenciais e de algumas outras fontes.

D Fontes móveis de poluição do ar incluem carros, caminhões e ônibus movidos a derivados do petróleo nos setores público e privado. Estas são as principais fontes de poluição do ar nas cidades. Veículos antigos ou sem manutenção adequada que consomem combustíveis de baixa qualidade são especialmente danosos. As emissões de navios e aviões são as maiores fontes móveis de poluição do ar em regiões próximas a portos e aeroportos.

Existem sinergias entre a poluição do ar e a mitigação das mudanças climáticas, uma vez que compartilham fontes comuns e, em grande medida, soluções, já que a maioria dos poluentes do ar também têm impacto no clima. Também se agravam reciprocamente de diversas formas, por exemplo, gases de efeito estufa, tais como o metano, contribuem para a formação de ozônio troposférico, e os níveis de ozônio troposférico aumentam a temperatura global, que aumenta a frequência de incêndios, que, por sua vez, aumentam os níveis de partículas de poluição do ar.

O black carbon gerado pela combustão tem forte impacto na saúde, mas também no clima, na precipitação e em eventos climáticos extremos de uma região. O Ártico e as regiões glaciares, como os Himalaias e os Andes, são particularmente vulneráveis ao derretimento como resultado da deposição do black carbon que aquece a superfície. A alteração do regime das chuvas pela interação de nuvens com aerossóis de black carbon pode ter vastas consequências para os ecossistemas e a subsistência humana, por exemplo, ao alterar monções e o regime de chuvas que são essenciais para a agricultura em grandes áreas da Ásia e da África.

Chamado à Ação

As cinco Academias Nacionais de Ciências e Medicina da África do Sul, do Brasil, da Alemanha e dos Estados Unidos estão lançando um chamado à ação por parte de líderes de governos, empresas e cidadãos com vistas a reduzir a poluição do ar em todos os países. Este apelo é sustentado pela inequívoca evidência científica dos fortes impactos da poluição do ar na saúde.

Muitos acordos, resoluções, convenções e iniciativas existentes já abordam aspectos da poluição do ar. Entre esses, estão o Protocolo de Montreal, a Convenção sobre a Poluição Atmosférica Transfronteiriça a Longa Distância da Comissão Econômica para a Europa das Nações Unidas, a Convenção Quadro para Controle do Tabaco da Organização Mundial da Saúde (OMS), e a resolução sobre os impactos da poluição do ar na saúde humana da Assembleia Mundial da Saúde (ligada à OMS).

Por isso, as Academias propõem a adoção de um pacto global sobre a poluição do ar. Isto deverá assegurar um empenho constante no mais alto nível e tornar o controle e a redução da poluição do ar uma prioridade para todos. Também servirá para encorajar os tomadores de decisão e outros atores-chave, incluindo o setor privado, a incluir o controle e a redução das emissões no planejamento a nível nacional e local, nos processos de desenvolvimento e nas estratégias comerciais e financeiras. Para o sucesso de tal processo serão necessárias lideranças e parcerias políticas, incluindo uma estreita colaboração com as estruturas multinacionais já existentes.

As Academias reconhecem que não há uma solução que atenda a todas as situações em todos os países. No entanto, é necessário tomar medidas urgentes nas seguintes áreas: Existem muitas soluções políticas e tecnológicas para a redução dos produtos nocivos gerados pela combustão. São exemplos, no caso de fontes fixas, a implementação de controles de emissão para a indústria e centrais de geração de energia ou a mudança para combustíveis limpos. Para as residências, a disponibilização do acesso a combustíveis de uso doméstico limpos. No caso da combustão controlada de biomassa, a aplicação efetiva de regras para eliminar a queima de lixo e a implementação de novas técnicas agrícolas para reduzir a queima de colheitas. Para as fontes móveis, a promoção e o investimento em transportes de massa e infraestruturas urbanas sustentáveis.

Políticas e tecnologias eficazes precisam ser compartilhadas. Sempre que aplicáveis, estas estratégias devem ser colocadas em ação com urgência em países em qualquer nível de desenvolvimento econômico de todo o mundo. Algumas soluções alcançam um elevado grau de consenso. Quando não existe consenso ou quando a escolha política depende substancialmente do contexto (dada a heterogeneidade dos sistemas legais, da geografia, do nível de desenvolvimento econômico, das fontes de poluição), é necessário adequar as políticas, embora existam ações universais que são demandadas em muitas áreas do planeta.

Existe a necessidade de reunir histórias de sucesso no controle da poluição do ar de cidades e de países, de extrair lições destas histórias, e de compartilhar estas lições com os países que estão começando a lidar com este assunto.

A exposição da população está diretamente relacionada à densidade populacional, a concentração de poluentes e a duração da exposição. Ao otimizar os custos e os benefícios das medidas tomadas para melhorar a qualidade do ar deve ser dada prioridade às fontes de poluição cuja exposição da população possa ser reduzida eficazmente, e à redução da exposição dos membros mais pobres da sociedade, reconhecendo que estas duas métricas podem por vezes colidir.

O monitoramento adequado das principais métricas da poluição, especialmente concentrações de PM_{2.5} e exposições da população, é uma necessidade crítica em todos os países. Uma outra demanda é por análises estatísticas subsequentes que possam ser usadas para avaliar o sucesso das políticas implementadas.

Benefícios mútuos entre os instrumentos de políticas precisam ser identificados. Deve ser dada prioridade a políticas que maximizem sinergias entre os múltiplos objetivos de desenvolvimento, incluindo a mitigação das mudanças climáticas e a segurança alimentar. Melhorias na eficiência energética proporcionam reduções de emissões de CO₂ e dos produtos nocivos da combustão, assim

como muitas outras estratégias para atenuar as mudanças climáticas, como uma maior implementação de energias renováveis e na eletrificação dos transportes.

Devem ser feitos esforços na elaboração de estratégias para a implementação de soluções. Estas estratégias podem incluir o desenvolvimento de capacidade institucional, a melhoria da governança, e o fomento de mecanismos para a colaboração e a execução entre organizações.

A utilização de ferramentas de avaliação de riscos e de análise de custo-benefício irão ajudar a escolher os modelos e os objetivos das políticas. As políticas de controle da poluição do ar devem ser elaboradas para a redução eficaz das exposições. O ideal seria que também conseguissem oferecer igualmente benefícios em outras áreas, como o clima, ou em outros setores, como a agricultura. Os poluidores podem ser incentivados a encontrar as formas mais baratas de reduzir a poluição e, por conseguinte, a exposição.

Este chamado à ação requer a mobilização de recursos e investimento substancial em iniciativas para reduzir a poluição do ar. Também é necessário aumentar o financiamento para pesquisa, o monitoramento da poluição, infraestrutura, gestão e controle, e a interação entre as partes interessadas.

Por fim, é necessário que exista um ativismo para a ação no qual os cidadãos sejam informados e inspirados a reduzir a sua pegada de poluição do ar e defendam compromissos ambiciosos por parte dos setores público e privado.

Pessoas Envolvidas

Grupo de Trabalho

Maria de Fatima Andrade, Professor of Meteorology and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Paulo Artaxo, Professor of Environmental Physics, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Simone Georges El Khouri Miraglia, Associate Professor and Leader of the Laboratory of Economics, Health and Environmental Pollution (LESPA), Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Nelson Gouveia, Associate Professor of Epidemiology, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Alan J. Krupnick, Senior Fellow, Resources for the Future, Washington, DC, U.S.A.

Jean Krutmann, Scientific Director, IUF – Leibniz Research Institute for Environmental Medicine, Düsseldorf, Germany

Philip J. Landrigan, Professor of Biology and Director, Program in Global Public Health and the Common Good, Boston College, Boston, U.S.A.

Kristy Langerman, Senior Lecturer, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

Tafadzwa Makonese, Senior Researcher and Lab Manager, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

Angela Mathee, Director MRC Environment & Health Research Unit, South African Medical Research Council (SAMRC), Johannesburg, South Africa

Stuart Piketh, Professor of Environmental Science, North-West University, Potchefstroom, South Africa
Beate Ritz, Professor of Epidemiology and Environmental Health Sciences, University of California, Los Angeles, USA
Paulo H. N. Saldiva, Director, Institute of Advanced Studies, University of São Paulo, São Paulo, Brazil
Jonathan Samet, Dean, Colorado School of Public Health, Aurora, USA
Tamara Schikowski, Head of Research Group “Environmental epidemiology of lung, brain and skin aging”, IUF – Leibniz Research Institute for Environmental Medicine, Düsseldorf, Germany
Alexandra Schneider, Head of Research Group “Environmental Risks”, Institute of Epidemiology, Helmholtz Zentrum München – German Research Center for Environmental Health, Neuherberg, Germany
Kirk R. Smith, Professor of Global Environmental Health, University of California, Berkeley, U.S.A. and Director, Collaborative Clean Air Policy Centre, Delhi, India
Claudia Traidl-Hoffmann, Chair and Institute of Environmental Medicine, UNIKA-T, Technical University of Munich and Helmholtz Zentrum München – German Research Center for Environmental Health, Augsburg, Germany
Alfred Wiedensohler, Head of Department for Experimental Aerosol and Cloud Microphysics, Leibniz Institute for Tropospheric Research, Leipzig, Germany
Caradee Wright, Specialist Scientist, South African Medical Research Council (SAMRC), Parktown, South Africa

Especialistas Externos Convidados

David Richard Boyd, United Nations Special Rapporteur on Human Rights and the Environment, Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights (OHCHR), Geneva, Switzerland
Valentin Foltescu, Senior Science and Programme Officer, Climate and Clean Air Coalition Secretariat, United Nations Environment, New Delhi, India
Richard Fuller, Lancet Commission on Pollution and Health Co-Chair, Pure Earth and Global Alliance on Health and Pollution, New York, U.S.A.
Dorota Jarosińska, Programme Manager, World Health Organization, European Centre for Environment and Health, Bonn, Germany
Jacqueline Myriam McGlade, Former Chief Scientist, United Nations Environment, Nairobi, Kenya
Drew Shindell, Duke University Durham, NC, U.S.A. and Chair of the Scientific Advisory Panel, Climate and Clean Air Coalition, Paris, France

Secretariado

Marcos Cortesao Barnsley Scheuenstuhl, Executive Director of International Affairs, Brazilian Academy of Sciences (ABC), Rio de Janeiro, Brazil
John P. Boright, Director of International Affairs, U.S. National Academy of Sciences (NAS), Washington, DC, U.S.A.
Siyavuya Bulani, Senior Liaison Officer, Academy of Science of South Africa (ASSAf), Pretoria, South Africa
Margaret Hamburg, Foreign Secretary, U.S. National Academy of Medicine (NAM), Washington, DC, U.S.A.

Kathrin Happe, Deputy Head of Department of Science – Policy – Society, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany
Jan Nissen, Senior Officer, Department of International Relations, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany
Isabel Scheer, Assistant, Department of International Relations, German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany

Leituras Complementares

Avaliações Integradas

European Environment Agency. Air Quality in Europe – 2018. EEA Report. doi:10.2800/777411
International Energy Agency. Energy and Air Pollution. World Energy Outlook Special Report. Paris: 2016. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf> (accessed 21 Nov 2018).
Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet* 2018;391:462–512. doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0
United Nations Environment Programme. Healthy Environment, Healthy People. Thematic Report, Ministerial Policy Review Session. 2016 UNEA 2 Inf. Doc 5. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17602/K1602727%20INF%205%20Eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 10 May 2019).
World Health Organization. Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016. Geneva: 2018. https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf (accessed 9 Nov 2018).

Impactos na Saúde

Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, et al. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax* 2014;69:660–5. doi:10.1136/thoraxjnl-2013-204492
Balakrishnan K, Dey S, Gupta T, et al. The impact of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across the states of India: the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Planetary Health* 2019;3:e26–39. doi:10.1016/S2542-5196(18)30261-4
Bowe B, Xie Y, Li T, et al. The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM_{2.5} air pollution. *The Lancet Planetary Health* 2018;2:e301–12. doi:10.1016/S2542-5196(18)30140-2
Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331–78. doi:10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1
Burke KE. Mechanisms of aging and development – A new understanding of environmental damage to the skin and prevention with topical antioxidants. *Mechanisms*

- of Ageing and Development 2018;172:123–30. doi:10.1016/j.mad.2017.12.003
- Calderón-Garcidueñas L, Calderón-Garcidueñas A, Torres-Jardón R, et al. Air pollution and your brain: what do you need to know right now. *Primary Health Care Research & Development* 2015;16:329–45. doi:10.1017/S146342361400036X
- Chen H, Kwong JC, Copes R, et al. Exposure to ambient air pollution and the incidence of dementia: A population-based cohort study. *Environment International* 2017;108:271–7. doi:10.1016/j.envint.2017.08.020
- Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet* 2017;389:1907–18. doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6
- Contreras ZA, Heck JE, Lee P-C, et al. Prenatal air pollution exposure, smoking, and uterine vascular resistance. *Environ Epidemiol* 2018;2. doi:10.1097/EE9.0000000000000017
- Dadvand P, Figueras F, Basagaña X, et al. Ambient Air Pollution and Preeclampsia: A Spatiotemporal Analysis. *Environ Health Perspect* 2013;121:1365–71. doi:10.1289/ehp.1206430
- Dimakakou E, Johnston H, Streftaris G, et al. Exposure to Environmental and Occupational Particulate Air Pollution as a Potential Contributor to Neurodegeneration and Diabetes: A Systematic Review of Epidemiological Research. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018;15:1704. doi:10.3390/ijerph15081704
- Ding A, Yang Y, Zhao Z, et al. Indoor PM_{2.5} exposure affects skin aging manifestation in a Chinese population. *Sci Rep* 2017;7:15329. doi:10.1038/s598-017-15295-8
- Di Q, Wang Y, Zanobetti A, et al. Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *New England Journal of Medicine* 2017;376:2513–22. doi:10.1056/NEJMoa1702747
- Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, et al. Association between Ambient Air Pollution and Diabetes Mellitus in Europe and North America: Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect* 2015;123:381–9. doi:10.1289/ehp.1307823
- Gauderman WJ, Urman R, Avol E, et al. Association of Improved Air Quality with Lung Development in Children. *New England Journal of Medicine* 2015;372:905–913. doi:10.1056/NEJMoa1414123
- Guxens M, Garcia-Esteban R, Giorgis-Allemand L, et al. Air Pollution During Pregnancy and Childhood Cognitive and Psychomotor Development. *Epidemiology* 2014;25:636–47. doi:10.1097/EDE.0000000000000133
- Health Effects Institute. State of Global Air 2019. Boston, MA. <https://www.stateofglobalair.org/> (accessed 18 Apr 2019).
- Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health* 2013;12:43. doi:10.1186/1476-069X-12-43
- International Agency for Research on Cancer, IARC. Outdoor air pollution. 2016. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK368024/> (accessed 5 Oct 2018).
- Kaufman JD, Adar SD, Barr RG, et al. Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the U.S.A. (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study. *The Lancet* 2016;388:696–704. doi:10.1016/S0140-6736(16)00378-0
- Kirrane EF, Bowman C, Davis JA, et al. Associations of ozone and PM_{2.5} concentrations with Parkinson's disease among participants in the Agricultural Health Study. *J Occup Environ Med* 2015;57:509–17. doi:10.1097/JOM.0000000000000451
- Krutmann J, Bouloc A, Sore G, et al. The skin aging exposome. *Journal of Dermatological Science* 2017;85:152–61. doi:10.1016/j.jdermsci.2016.09.015
- Landrigan PJ. Air pollution and health. *The Lancet Public Health* 2017;2:e4–5. doi:10.1016/S2468-2667(16)30023-8
- Lee P-C, Liu L-L, Sun Y, et al. Traffic-related air pollution increased the risk of Parkinson's disease in Taiwan: A nationwide study. *Environment International* 2016;96:75–81. doi:10.1016/j.envint.2016.08.017
- Leiser CL, Hanson HA, Sawyer K, et al. Acute effects of air pollutants on spontaneous pregnancy loss: a case-crossover study. *Fertility and Sterility* 2019;111(2):341–347. doi:10.1016/j.fertnstert.2018.10.028
- Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 2015;525:367–71. doi:10.1038/nature15371
- Li T, Zhang Y, Wang J, et al. All-cause mortality risk associated with long-term exposure to ambient PM_{2.5} in China: a cohort study. *The Lancet Public Health* 2018;3:e470–7. doi:10.1016/S2468-2667(18)30144-0
- Malley CS, Kuylensstierna JCI, Vallack HW, et al. Preterm birth associated with maternal fine particulate matter exposure: A global, regional and national assessment. *Environment International* 2017;101:173–82. doi:10.1016/j.envint.2017.01.023
- McConnell R, Berhane K, Gilliland F, et al. Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:790–7. doi:10.1164/rccm.200304-466OC
- Newby DE, Mannucci PM, Tell GS, et al. Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. *Eur Heart J* 2015;36:83–93. doi:10.1093/eurheartj/ehu458
- Ngoc L, Park D, Lee Y, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of Human Skin Diseases Due to Particulate Matter. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017;14:1458. doi:10.3390/ijerph14121458
- Paul KC, Haan M, Mayeda ER, et al. Ambient Air Pollution, Noise, and Late-Life Cognitive Decline and Dementia Risk. *Annual Review of Public Health* 2019;40:203–20. doi:10.1146/annurev-publhealth-040218-044058
- Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, et al. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *The Lancet Respiratory Medicine* 2013;1:695–704. doi:10.1016/S2213-2600(13)70192-9
- Pedersen M, Stayner L, Slama R, et al. Ambient air pollution and pregnancy-induced hypertensive disorders: a systematic review and meta-analysis. *Hypertension* 2014;64:494–500. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03545
- Pope III CA, Dockery DW. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2006;56:709–42. doi:10.1080/10473289.2006.10464485
- Power MC, Adar SD, Yanosky JD, et al. Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: A systematic review of epidemiologic research. *NeuroToxicology* 2016;56:235–53. doi:10.1016/j.neuro.2016.06.004
- Puri P, Nandar SK, Kathuria S, et al. Effects of air pollution on the skin: A review. *Indian Journal of Dermatology*,

Venereology, and Leprology 2017;83:415.

doi:10.4103/0378-6323.199579

Lee KK, Miller MR, Shah ASV. Air Pollution and Stroke.

Journal of Stroke 2018;20:2–11.

doi:10.5853/jos.2017.02894

Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology* 2013;14:813–22.

doi:10.1016/S1470-2045(13)70279-1

Resolution WHA68.8: Health and the environment: addressing the health impact of air pollution. World Health Organization 2015. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/wha68/a68_r8-en.pdf (accessed 8 Nov 2018).

Ritz B, Lee P-C, Hansen J, et al. Traffic-Related Air Pollution and Parkinson's Disease in Denmark: A Case-Control Study. *Environ Health Perspect* 2016;124:351–6.

doi:10.1289/ehp.1409313

Ritz B, Liew Z, Yan Q, et al. Air pollution and autism in Denmark. *Environmental Epidemiology* 2018;2:e028.

doi:10.1097/EE9.0000000000000028

Rückerl R, Schneider A, Breitner S, et al. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology* 2011;23:555–92.

doi:10.3109/08958378.2011.593587

Samoli E, Stergiopoulou A, Santana P, et al. Spatial variability in air pollution exposure in relation to socioeconomic indicators in nine European metropolitan areas: A study on environmental inequality. *Environmental Pollution* 2019;249:345–53. doi:10.1016/j.envpol.2019.03.050

Shah ASV, Lee KK, McAllister DA, et al. Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2015;350:h1295.

doi:10.1136/bmj.h1295

Shindell D, Faluvegi G, Seltzer K, et al. Quantified, localized health benefits of accelerated carbon dioxide emissions reductions. *Nature Climate Change* 2018; 8:291–5. doi:10.1038/s41558-018-0108-y

Shiraiwa M, Ueda K, Pozzer A, et al. Aerosol Health Effects from Molecular to Global Scales. *Environ Sci Technol* 2017;51:13545–67. doi:10.1021/acs.est.7b04417

Stanek LW, Brown JS, Stanek J, et al. Air Pollution Toxicology—A Brief Review of the Role of the Science in Shaping the Current Understanding of Air Pollution Health Risks. *Toxicol Sci* 2011;120:S8–27.

doi:10.1093/toxsci/kfq367

Stieb DM, Chen L, Eshoul M, et al. Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research* 2012;117:100–11.

doi:10.1016/j.envres.2012.05.007

Suades-González E, Gascon M, Guxens M, et al. Air Pollution and Neuropsychological Development: A Review of the Latest Evidence. *Endocrinology* 2015;156:3473–82.

doi:10.1210/en.2015-1403

Taylor C, Golding J, Emond A. Adverse effects of maternal lead levels on birth outcomes in the ALSPAC study: a prospective birth cohort study. *BJOG* 2015;122:322–8.

doi:10.1111/1471-0528.12756

Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *Eur Respir J* 2017;49. doi:10.1183/13993003.00419-2016

Vrijheid M, Casas M, Gascon M, et al. Environmental pollutants and child health — A review of recent concerns. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*

2016;219:331–42. doi:10.1016/j.ijheh.2016.05.001

Wang B, Xu D, Jing Z, et al. Mechanisms in endocrinology: Effect of long-term exposure to air pollution on type 2 diabetes mellitus risk: a systemic review and meta-analysis of cohort studies. *European Journal of Endocrinology* 2014;171:R173–82. doi:10.1530/EJE-14-0365

World Health Organization. Fact sheet on household air pollution and health. 2018. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> (accessed 18 Feb 2019).

World Health Organization. Fact sheet on ambient (outdoor) air quality and health. 2018. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (accessed 18 Feb 2019).

Wu J, Ren C, Delfino RJ, et al. Association between Local Traffic-Generated Air Pollution and Preeclampsia and Preterm Delivery in the South Coast Air Basin of California. *Environ Health Perspect* 2009;117:1773–9.

doi:10.1289/ehp.0800334

Wu J, Laurent O, Li L, et al. Adverse Reproductive Health Outcomes and Exposure to Gaseous and Particulate-Matter Air Pollution in Pregnant Women. *Research on Reproductive Health Effects Inst* 2016:1–58.

Emissões de Poluentes do Ar

Apte JS, Messier KP, Gani S, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environ Sci Technol* 2017;51:6999–7008. doi:10.1021/acs.est.7b00891

Beekmann M, Prévôt ASH, Drewnick J, et al. In situ, satellite measurement and model evidence on the dominant regional contribution to fine particulate matter levels in the Paris megacity. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2015;15:9577–9591. doi:10.5194/acp-15-9577-2015

Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet* 2014; 383:785–795. doi: 10.1016/S0140-6736(13)62158-3

Belis CA, Karagulian F, Larsen BR, Hopke PK. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment* 2013;69:94–108. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.11.009

Bond TC, Bhardwaj E, Dong R, et al. Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000. *Global Biogeochemical Cycles* 2007;21. doi:10.1029/2006GB002840

Braspenning Radu O, van den Berg M, Klimont Z, et al. Exploring synergies between climate and air quality policies using long-term global and regional emission scenarios. *Atmospheric Environment* 2016;140:577–91. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.05.021

Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:2331–2378. doi:10.1161/CIR.0b013e3181dbce1

Brown JS. Nitrogen dioxide exposure and airway responsiveness in individuals with asthma. *Inhalation Toxicology* 2015;27:1–14. doi:10.3109/08958378.2014.979960

Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, et al. Global estima-

tes of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *PNAS* 2018;115:9592–9597. doi:10.1073/pnas.1803222115

Butt EW, Rap A, Schmidt A, et al. The impact of residential combustion emissions on atmospheric aerosol, human health, and climate. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2016;16:873–905. doi:10.5194/acp-16-873-2016

Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 2014;348:f7412. doi:10.1136/bmj.f7412

Clifford A, Lang L, Chen R, et al. Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course — A systematic literature review. *Environmental Research* 2016;147:383–398. doi:10.1016/j.envres.2016.01.018

Chen H, Huang Y, Shen H, et al. Modeling temporal variations in global residential energy consumption and pollutant emissions. *Applied Energy* 2016;184:820–9. doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.185

Dave P, Bhushan M, Venkataraman C. Aerosols cause intraseasonal short-term suppression of Indian monsoon rainfall. *Scientific Reports* 2017;7:17347. doi:10.1038/s41598-017-17599-1

Dawn Alas H, Müller T, Birmili W. Spatial Characterization of Black Carbon Mass Concentration in the Atmosphere of a Southeast Asian Megacity: An Air Quality Case Study for Metro Manila, Philippines. *Aerosol and Air Quality Research* 2018;18:2301–2317. doi:10.4209/aaqr.2017.08.0281

Franklin BA, Brook R, Pope CA 3rd. Air pollution and cardiovascular disease. *Current Problems in Cardiology* 2015;40:207–38. doi:10.1016/j.cpcardiol.2015.01.003

Gallardo L, Escribano J, Dawidowski L, et al. Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo. *Atmospheric Environment* 2012;47:12–9. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.11.051

Gidden MJ, Riahi K, Smith SJ, et al. Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development* 2019;12:1443–75. doi:10.5194/gmd-12-1443-2019

Hassler B, McDonald BC, Frost GJ, et al. Analysis of long-term observations of NO_x and CO in megacities and application to constraining emissions inventories. *Geophysical Research Letters* 2016;43:9920–30. doi:10.1002/2016GL069894

Huang Y, Shen H, Chen Y, et al. Global organic carbon emissions from primary sources from 1960 to 2009. *Atmospheric Environment* 2015;122:505–512. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.10.017

Ibarra-Espinosa S, Ynoue R, O'Sullivan S et al. VEIN v0.2.2: an R package for bottom-up vehicular emissions inventories. *Geoscientific Model Development* 2018;11:2209–2229. doi:10.5194/gmd-11-2209-2018

Janssens-Maehout G, Crippa M, Guizardi D, et al. HTAP_v2.2: a mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2015;15:11411–11432. doi:10.5194/acp-15-11411-2015

Jimenez JL, Canagaratna MR, Donahue NM, et al. Evolution of organic aerosols in the atmosphere. *Science* 2009;326:1525–1529. doi:10.1126/science.1180353

Klimont Z, Kupainen K, Heyes C, et al. Global anthropogenic emissions of particulate matter including black

carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2017;17:8681–8723. doi:10.5194/acp-17-8681-2017.

Lamarque JF, Bond TC, Eyring V, et al. Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: Methodology and application. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2010;10:7017–7039. doi:10.5194/acp-10-7017-2010

Liu J, Mauzerall DL, Chen Q, et al. Air pollutant emissions from Chinese households: A major and underappreciated ambient pollution source. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2016;113:7756–7761. doi:10.1073/pnas.1604537113

Madrazo J, Clappier A, Belalcazar LC, et al. Screening differences between a local inventory and the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). *Science of The Total Environment* 2018;631–632:934–941. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.094

van der Werf GR, Randerson, JT, Giglio L, et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics* 2010;10:11707–11735. doi:10.5194/acp-10-11707-2010

van Donkelaar A, Martin RV, Brauer M, et al. Global Estimates of Fine Particulate Matter using a Combined Geophysical-Statistical Method with Information from Satellites, Models, and Monitors. *Environmental Science and Technology* 2016;50:3762–3772. doi:10.1021/acs.est.5b05833

Custos e Benefícios Econômicos

Amann M, Holland M, Maas R, et al. Costs, benefits and economic impacts of the EU clean air strategy and their implications on innovation and competitiveness. IASA report. Laxenburg: 2017. http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/clean_air_outlook_economic_impact_report.pdf (accessed 10 May 2019).

Roy R, Braathen NA. The Rising Cost of Ambient Air Pollution thus far in the 21st Century — Results from the BRIICS and the OECD Countries. *OECD Environment Working Papers*. 2017. doi:10.1787/d1b2b844-en

US Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation. The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020 — Summary Report. 2011. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/summaryreport.pdf> (accessed 16 Nov 2018).

The World Bank. The cost of air pollution: strengthening the economic case for action. The World Bank 2016. <http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/pdf/108141-REVISED-Cost-of-PollutionWebCORRECTEDfile.pdf> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe — HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf (accessed 10 May 2019).

Políticas e Ações

Boyd DR. Report of the Special Rapporteur on human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment. Human Rights Council. 2019. <https://undocs.org/A/HRC/40/55> (accessed 28 May 2019).

DeShazo J, Sheldon TL, Carson RT. Designing policy incentives for cleaner technologies: Lessons from California's plug-in electric vehicle rebate program. *Journal of Environmental Economics Management* 2017;84:18–43. doi:10.1016/j.jeem.2017.01.002

Figueres C, Landrigan PJ, Fuller R. Tackling air pollution, climate change, and NCDs: time to pull together. *The Lancet* 2018;392:1502–3. doi:10.1016%2FS0140-6736(18)32740-5

Fuller R, Rahona E, Fisher S, et al. Pollution and non-communicable disease: time to end the neglect. *The Lancet Planetary Health* 2018;2(3):e96–8. doi:10.1016/S2542-5196(18)30020-2

Haines A, Landrigan PJ. It's time to consider pollution in NCD prevention. *The Lancet* 2018;392:1625–6. doi:10.1016/S0140-6736(18)32200-1

Kutlar Joss M, Eeftens M, Gintowt E, et al. Time to harmonize national ambient air quality standards. *International Journal of Public Health* 2017;62:453–462. doi:10.1007/s00038-017-0952-y

Samet JM, Gruskin S. Air pollution, health, and human rights. *The Lancet Respiratory Medicine* 2015;3:98–100. doi:10.1016/S2213-2600(14)70145-6

United Nations Environment Programme. Ministerial declaration of the United Nations Environment Assembly at its third session: Towards a pollution-free planet. UNEP/EA.3/L.19. 2017. <https://papersmart.unon.org/resolution/ministerial-declaration> (accessed 28 May 2019).

Watts N, Amann M, Ayeb-Karlsson S, et al. The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *The Lancet* 2018;391:581–630. doi:10.1016/S0140-6736(17)32464-9

World Bank Group. Independent Evaluation Group. Toward a clean world for all: an IEG evaluation of the World Bank Group's support for pollution management. Washington, DC: World Bank, 2017. <http://ieg.worldbankgroup.org/evaluations/pollution> (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020. Geneva: 2013. https://www.who.int/nmh/events/ncd_action_plan/en/ (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Resolution WHA68.8: Health and the environment: addressing the health impact of air pollution. Geneva: 2015. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/wha68/a68_r8-en.pdf (accessed 8 Nov 2018).

World Health Organization. Air pollution and child health: prescribing clean air. Geneva: 2018. <http://www.who.int/ceh/publications/air-pollution-child-health/en/> (accessed 31 Oct 2018).

World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2006. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen->

dioxide-and-sulfur-dioxide (accessed 10 May 2019).

World Health Organization. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP. Technical Report. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen: 2013. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1 (accessed 28 May 2019).

Créditos

Copy-Editing

German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale), Germany
internationalrelations@leopoldina.org
www.leopoldina.org

Translation

GlobalSprachTeam, Sassenberg+Kollegen, Berlin
www.sprachteam.com.

Art Direction

Lamm & Kirch, Berlin / Leipzig
www.lamm-kirch.com

Print (English original)

Printed in Germany by Elbe Druckerei Wittenberg GmbH
www.elbedruckerei.de

Printed on recycled paper.

Publication date

June 2019

Copyright

© Academy of Science of South Africa (ASSAf)
www.assaf.org.za

© Brazilian Academy of Sciences (ABC)
www.abc.org.br

© German National Academy of Sciences Leopoldina
www.leopoldina.org

© U.S. National Academy of Medicine (NAM)
www.nam.edu

© U.S. National Academy of Sciences (NAS)
www.nasonline.org

ISBN: 978-3-8047-4017-4 (English original)