

A Science-Policy  
Initiative

# Air Pollution and Health

Contaminación del  
Aire y Salud



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

Traducción del inglés: «Contaminación del aire y salud. Iniciativa de política científica de la Academia de Ciencias de Sudáfrica, la Academia Brasileña de Ciencias, la Academia Nacional Alemana de Ciencias Leopoldina, la Academia Nacional de Medicina de Estados Unidos y la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos». Documento no oficial.

La contaminación del aire es una amenaza importante, evitable y controlable tanto para la salud y el bienestar de las personas como para el logro del desarrollo sostenible. Se calcula que la contaminación del aire contribuye a la muerte prematura de al menos cinco millones de personas al año en todo el mundo. Nadie se libra de los efectos del aire contaminado, aunque los perjuicios recaen sobre todo en las poblaciones vulnerables (p. ej., niños, mujeres y personas que viven en condiciones de pobreza), grupos con los que los Estados tienen obligaciones especiales conforme a la legislación internacional en materia de derechos humanos.

La mala calidad del aire amenaza la vida humana, la salud de la población y la prosperidad futura de los niños. La contaminación del aire también pone en peligro la sostenibilidad medioambiental de la Tierra, ya que el aire limpio es igual de fundamental para la vida terrestre que el agua limpia.

Las pruebas científicas son inequívocas: la contaminación del aire puede perjudicar la salud a lo largo de toda la vida. Provoca enfermedades, discapacidad y muerte, además de deteriorar la calidad de vida de todas las personas. No solo daña los pulmones, el corazón, el cerebro, la piel y otros órganos, sino que también aumenta el riesgo de sufrir dolencias e invalidez, al afectar prácticamente a todos los sistemas del cuerpo humano.

Los costes que genera para la sociedad y las economías de los países con ingresos bajos y medios son enormes. Estas pérdidas económicas son tan significativas que pueden menoscabar el desarrollo sostenible. El crecimiento económico que acepta la contaminación del aire y hace caso omiso de las repercusiones para la salud pública y el medio ambiente es insostenible y poco ético.

La quema de combustibles fósiles y la biomasa son las fuentes más importantes de la contaminación del aire a nivel mundial. Asimismo, originan de forma considerable contaminantes climáticos de vida corta (como el carbono negro, el metano y el ozono a nivel del suelo) y son las causas principales de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Muchas de las soluciones a los problemas de la contaminación del aire también influirán positivamente en la mitigación del cambio climático y pueden ayudar en gran medida a alcanzar el objetivo climático de 1,5 °C.

Las inversiones públicas y privadas para luchar contra la contaminación del aire son insuficientes y no se ajustan a la magnitud del problema. Existen numerosas oportunidades de crear sinergias entre el control de la contaminación del aire, la atenuación del cambio climático y el desarrollo sostenible, pero no se han aprovechado plenamente.

La contaminación del aire es un problema evitable. No obstante, sin medidas renovadas, la exposición a la contaminación del aire seguirá contribuyendo de manera significativa a la mortalidad mundial. Sumada al envejecimiento, al crecimiento de la población y a la urbanización, el número de personas que sufrirá y morirá cada año se verá incrementado.

La contaminación del aire puede controlarse de forma rentable mediante una combinación de políticas, leyes, reglamentos, normas e imposiciones, junto con la aplicación de nuevas tecnologías y el aumento de la concienciación social. Su control fomenta el crecimiento económico y beneficia a las economías nacionales, al evitar enfermedades y prevenir pérdidas de productividad.

Las Academias Nacionales de Ciencias y Medicina de Sudáfrica, Brasil, Alemania y los Estados Unidos de América están haciendo llamamientos a dirigentes gubernamenta-

les, empresas y ciudadanos para que adopten medidas urgentes a fin de disminuir la contaminación del aire en todo el mundo, en beneficio de la salud y el bienestar de los seres humanos, en beneficio del medio ambiente y como condición para el desarrollo sostenible. La contaminación del aire es un aspecto transversal de muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.

Cinco Academias Nacionales de Ciencias y Medicina proponen la adopción de un pacto mundial sobre la contaminación del aire para que la lucha y la reducción constituyan una prioridad para todos.

# La contaminación del aire afecta a la salud de todas las personas

El aire limpio es esencial para la vida y la salud. La contaminación del aire es la primera causa ambiental de enfermedades y mortalidad prematura del mundo a día de hoy. Se ha relacionado con al menos cinco millones de muertes prematuras al año. Pese a que la contaminación del aire nos afecta a todos, la morbilidad es mayor entre los pobres e indefensos, las minorías y los marginados.

Perjudica a las personas desde que nacen hasta que mueren, causándoles una extensa serie de enfermedades agudas y crónicas a partir de las primeras etapas del desarrollo infantil hasta la vejez extrema. Los sectores de la población especialmente sensibles son los bebés en desarrollo en el útero, los niños, los ancianos y quienes padecen enfermedades crónicas preexistentes. Puede tener un impacto en casi todos los órganos, sistemas y procesos del cuerpo humano: pulmones, corazón, cerebro, sistema vascular, metabolismo y reproducción.

La contaminación del aire es una causa fundamental de neumonía, bronquitis y asma en bebés y niños. Hace que el crecimiento de los pulmones en desarrollo de niños y adolescentes se retrase. Contribuye a la aparición de cardiopatías, como arritmias cardíacas e infarto agudo de miocardio, ictus, cáncer, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, diabetes, alergias, eccema y envejecimiento cutáneo. Cada vez aparecen más pruebas de que la contaminación del aire es un factor parcialmente responsable de la demencia en los adultos e influye negativamente en el desarrollo cerebral de los niños.

Las mujeres de países con bajos ingresos se ven desproporcionadamente afectadas por la exposición a la contaminación doméstica del aire debida al uso de combustibles sólidos (carbón y biomasa) para cocinar, y son las que más sufren afecciones relacionadas con la polución. Las mujeres también soportan la mayor carga del cuidado de otros miembros de la familia que padecen enfermedades asociadas a la contaminación del aire.

Los riesgos de la contaminación del aire varían de una sociedad a otra, y la vulnerabilidad de cada persona es diferente. Algunos factores que inciden en la susceptibilidad individual son la edad, el sexo, la educación, el nivel socioeconómico, la ubicación, la residencia, los com-

bustibles usados para cocinar y calentar, y la actividad laboral. Entre los factores biológicos que aumentan la vulnerabilidad individual figuran la predisposición genética y las patologías subyacentes, como el asma, las cardiopatías o la diabetes.

Las enfermedades relacionadas con la contaminación del aire ocasionan pérdidas de productividad que pueden debilitar el producto interior bruto, llevar a absentismo laboral y escolar, y perpetuar las desigualdades sociales existentes. Estas afecciones también dan lugar a unos gastos sanitarios que, en los países de rápida industrialización, pueden consumir hasta el 7 % de los presupuestos nacionales destinados a la salud.

Se ha calculado que el peso económico mundial de las enfermedades causadas por la contaminación del aire (tanto exterior como interior) ascendió a 3,8 billones de dólares estadounidenses en 2015 en 176 países. Las medidas para luchar contra la contaminación del aire conllevarán unas ventajas para la salud y la economía que superarán con creces los costes en que se incurra.

Existe un imperativo ético de trabajar conjuntamente para proteger a todas las personas de los riesgos sanitarios que la contaminación del aire acarrea, y que la población sufre como consecuencia adversa impagada de las acciones de los contaminadores.

# La quema de combustibles fósiles y la biomasa son las causas principales de la contaminación del aire

Los contaminantes atmosféricos que más preocupan con respecto a la salud humana son las partículas transportadas por el aire. Las emisiones no filtradas de la combustión contienen concentraciones significativas de partículas ultrafinas, finas y grandes, incluido el carbono negro, así como gases nocivos.

La contaminación del aire es un entramado complejo de distintos componentes. Los niveles de partículas finas (concentración másica de PM<sub>2,5</sub>) unidos al ozono sirven de indicador fiable para fines legislativos, donde el carbono negro se usa en representación de las emisiones derivadas de la combustión.

Los motivos principales de la contaminación del aire relacionada con la combustión son **A** las instalaciones de combustión fijas, **B** la calefacción y las cocinas domésticas, **C** la quema controlada de biomasa y la com-

bustión de residuos, y **D** las fuentes móviles. Su importancia relativa difiere entre países.

- A** Las fuentes fijas son las centrales eléctricas, las instalaciones de fabricación y las minas con controles de emisiones limitados. Las instalaciones que queman carbón u otros combustibles de mala calidad o que dependen de generadores diésel debido a la falta de fiabilidad de la red suelen ser los peores infractores.
- B** Los hogares son una causa importante de la contaminación del aire, especialmente en los países con bajos ingresos que dependen de los combustibles de biomasa para la calefacción y la cocina. También son un lugar en el que las personas están muy expuestas.
- C** Las fuentes controladas de combustión de biomasa relacionadas con la quema de desechos agrícolas, así como el desmonte y la tala de bosques, son grandes responsables de la contaminación del aire en los países en vías de desarrollo. La quema incontrolada adicional de biomasa tiene que ver con la combustión de residuos residenciales y de otro tipo.
- D** Algunas de las fuentes móviles de la contaminación del aire son los automóviles, camiones y autobuses que funcionan con derivados del petróleo, tanto en el sector privado como en el público. Se trata de los mayores contaminantes del aire en las ciudades. Los vehículos viejos y mal mantenidos que queman combustibles de baja calidad son particularmente peligrosos. Las emisiones provenientes de buques y aeronaves constituyen las principales fuentes móviles de contaminación del aire cerca de puertos y aeropuertos.

Existen sinergias entre el control de la contaminación del aire y la mitigación del cambio climático, puesto que comparten algunas causas (y, en gran medida, algunas soluciones), al tiempo que la mayoría de los contaminantes atmosféricos influyen igualmente en el clima. Además, se agravan entre sí de varios modos; por ejemplo, los gases de efecto invernadero, como el metano, contribuyen a la formación de ozono a nivel del suelo, cuyos niveles incrementan al subir las temperaturas, las cuales hacen que los incendios forestales sean más frecuentes, lo que a su vez eleva todavía más la contaminación del aire por partículas.

El carbono negro resultante de la combustión influye en la salud, pero también en las temperaturas regionales, las precipitaciones y las condiciones climáticas extremas. Las zonas árticas y glaciares, como el Himalaya, son especialmente susceptibles al deshielo debido a los depósitos de carbono negro que calientan la superficie. Los cambios en la pluviometría originados por las interacciones entre los aerosoles y las nubes de carbono negro pueden tener consecuencias trascendentales tanto para los ecosistemas como para los medios de subsistencia humanos, por ejemplo, al alterar los monzones y las sequías, críticos para la agricultura en gran parte de Asia y África.

## Llamamiento a la acción

Las cinco Academias Nacionales de Ciencias y Medicina de Sudáfrica, Brasil, Alemania y los Estados Unidos de América están haciendo llamamientos a la acción a líderes

gubernamentales, empresas y ciudadanos para que la contaminación del aire se frene en todos los países. Este llamamiento está respaldado por pruebas científicas inequívocas sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud.

Muchos de los acuerdos, resoluciones, convenios e iniciativas existentes ya abordan algunos aspectos. Entre ellos se encuentran el Protocolo de Montreal, el Convenio de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas sobre la contaminación del aire transfronteriza a larga distancia, el Convenio Marco de la OMS para el Control del Tabaco y la resolución de la Asamblea Mundial de la Salud sobre el impacto de la contaminación del aire en la salud.

Por lo tanto, las Academias proponen la adopción de un pacto mundial sobre la contaminación del aire, lo que garantizaría un compromiso continuo al más alto nivel y establecería como prioridad para todos el control y la reducción de la contaminación del aire. También animaría a los legisladores y a otros socios clave, incluido el sector privado, a incorporar la vigilancia y la disminución de las emisiones en la planificación nacional y local, en los procesos de desarrollo y en las estrategias empresariales y financieras. Para que un proceso así tuviera éxito, sería necesario que hubiera tanto liderazgo político como asociaciones que colaborasen con las estructuras multinacionales existentes.

Las Academias reconocen que no existe una solución perfecta para todos los casos en todos los países. Sin embargo, es necesario actuar con urgencia en los siguientes ámbitos.

Hay muchas soluciones políticas y tecnológicas para reducir los productos nocivos de la combustión. En el caso de las fuentes estacionarias, incluyen la aplicación de controles de emisiones para la industria y las centrales eléctricas, o el cambio a combustibles limpios. Con respecto a los hogares, una solución es tener acceso a combustibles domésticos limpios. Para la quema controlada de biomasa, cabe mencionar la imposición de normas para eliminar la quema de basura y las nuevas técnicas agrícolas para disminuir la quema de cultivos. En cuanto a las fuentes móviles, están el fomento y la inversión en transportes masivos e infraestructuras urbanas sostenibles.

Es necesario compartir políticas y tecnologías eficaces. Donde proceda, estas estrategias deberían ponerse en práctica urgentemente en países de todos los niveles de desarrollo económico del mundo. Algunas soluciones cuentan con un alto grado de consenso. En cambio, cuando falta ese consenso o la elección política depende en gran medida del contexto (dada la heterogeneidad de los sistemas jurídicos, la geografía, la fase de desarrollo económico y las fuentes de contaminación), es preciso adaptar las políticas, aunque en muchas partes del mundo se necesitan medidas universales.

Hay que recopilar casos de éxito de ciudades y países en la lucha contra la contaminación del aire, y extraer enseñanzas de ellos que se compartan con los países en los que se empieza a lidiar con la cuestión.

La exposición de las persona está directamente relacionada con la densidad de población, la concentración de los contaminantes y la duración de la exposición. Al optimizar los costes y beneficios de las medidas tomadas para mejorar la calidad del aire, se debe dar prioridad a las fuentes de contaminación cuya exposición poblacional pueda limitarse de forma rentable y a la disminución de la exposición entre los miembros más pobres de la sociedad. Se reconoce, no obstante, que estos dos parámetros a veces pueden entrar en conflicto.

Realizar un seguimiento suficiente de los principales parámetros de polución, especialmente las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y la exposición de las personas, es una necesidad imperiosa en todos los países. Otra necesidad es el uso de análisis estadísticos de seguimiento, que pueden servir para evaluar el acierto de las medidas normativas.

Es necesario identificar los beneficios colaterales entre los instrumentos políticos. Hay que priorizar las políticas que amplíen las sinergias entre los diversos objetivos de desarrollo, tales como la mitigación del cambio climático y la seguridad alimentaria. Las mejoras en la eficiencia energética permiten reducir tanto el  $CO_2$  como los productos nocivos de la combustión, al igual que otras muchas iniciativas encaminadas a atenuar el cambio climático, como una mayor utilización de las energías renovables y la electrificación del transporte.

Se debe hacer un esfuerzo para idear estrategias que pongan en práctica soluciones. Algunas de ellas podrían ser la creación de capacidad institucional, la mejora de la gestión y el fomento de mecanismos para la colaboración entre organismos y para la implementación.

Usar las herramientas de evaluación de riesgos y análisis de costes frente a beneficios ayudará a decidir los diseños y objetivos de las normativas. Las políticas de lucha contra la contaminación del aire deben elaborarse de modo que permitan reducir la exposición de forma rentable. Lo ideal sería que aportaran ventajas en otros ámbitos igualmente (como el clima) u otros sectores (como la agricultura). Se podría incentivar a los contaminadores para que encontrasen modos más baratos de limitar la contaminación y, por lo tanto, la exposición.

Este llamamiento a la acción requiere movilizar fondos y hacer inversiones sustanciales en oportunidades para disminuir la contaminación del aire. Además, se necesita mayor financiación para la investigación, la supervisión de la contaminación, las infraestructuras, la gestión y vigilancia, y las interacciones con las partes interesadas.

Por último, es preciso promover la toma de medidas en las que se informe y anime a los ciudadanos a reducir su huella en la contaminación del aire y abogar por compromisos audaces por parte de los sectores públicos y privados.

# Participantes

## Grupo de trabajo

**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

## Expertos externos invitados

**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

## Secretaría

**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

# Lecturas complementarias

## Evaluaciones 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](https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf) (accessed 9 Nov 2018).

## Efectos sobre la salud

Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, et al. Epidemiological time series studies of PM<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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.0b013e3181d8bece1
- 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, Streffaris 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> in China: a cohort study. *The Lancet Public Health* 2018;3:e470–7. doi:10.1016/S2468-2667(18)30144-0
- Malley CS, Kuynlenstierna 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](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.

## Emisiones de contaminantes atmosféricos

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.0b013e3181d8bec1

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 estimates 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 NOX 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

## Costes y beneficios económicos

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. IIASA report. Laxenburg: 2017. [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/clean\\_air\\_outlook\\_economic\\_impact\\_report.pdf](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](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf) (accessed 10 May 2019).



# Políticas y medidas

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/S0140-6736(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/](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](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](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1) (accessed 28 May 2019).

# Sello

## 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)