

Informe C

Calidad del aire: avances y mejores prácticas

Nuevas oportunidades ante un desafío sistémico

Resumen C	1	Mitigación: estrategias para la mejora de la calidad del aire	13
Introducción	3	Tráfico rodado y movilidad	14
		Sector doméstico y residencial	17
		Industria	17
Contaminantes principales	3	Sector agropecuario	17
Impactos	5	Cambio social: información, percepción y comportamiento	18
Efectos sobre el ser humano	5		
Inequidad social	6		
Efectos ecológicos	7		
Efectos económicos y coste	7	Ideas fuerza	19
Hacia un enfoque sistémico	8	Referencias:	I
Múltiples sectores interconectados: cobeneficios	8		
Clima y calidad del aire	8		
Protección y gestión de la calidad del aire	9		
Marco legislativo	9		
Valores guía para la salud	9		
Evaluación de la calidad del aire: vigilancia y modelización	10		
Estado de la calidad del aire en España	11		

Cómo citar este informe:

Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C). Informe C: Calidad del aire: avances y mejores prácticas. (2023) [www.doi.org/10.57952/h3ye-1663](https://doi.org/10.57952/h3ye-1663)

Personal experto consultado (por orden alfabético)

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)¹.

Borge, Rafael¹. Catedrático, Universidad Politécnica de Madrid, España. Investigador visitante en la Harvard T.H. Chan School of Public Health, Estados Unidos.

Castell, Nuria¹. Científica titular, The Climate and Environmental Research Institute NILU, Noruega.

de la Rosa Díaz, Jesús¹. Catedrático de la Universidad de Huelva. Coordinador de la Subárea de Clima y Atmósfera de la Agencia Estatal de Investigación (AEI).

de Nazelle, Audrey¹. Profesora titular, Centre for Environmental Policy. Co-chair, International Society for Environmental Epidemiology. Reino Unido.

Díaz Jiménez, Julio¹. Profesor de Investigación del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). Codirector de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano del ISCIII.

García Dos Santos-Alves, Saúl¹. Jefe de Área, Laboratorio Nacional de Referencia para la Calidad del Aire. Centro Nacional de Sanidad Ambiental Instituto de Salud Carlos III.

García Gómez, Héctor¹. Post-doc, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

García Vivanco, Marta¹. Jefe de la Unidad de Modelización Atmosférica. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

González Ortiz, Alberto¹. Experto en calidad del aire. European Environment Agency (Agencia Europea de Medio Ambiente), Dinamarca.

Linares Gil, Cristina¹. Científico titular, Instituto de Salud Carlos III, España. Asesora para Organización Mundial de la Salud y Naciones Unidas, Suiza.

López Aparicio, Susana¹. Científico titular, The Climate and Environmental Research Institute NILU, Noruega.

Lumbreras Martín, Julio¹. Profesor titular, Universidad Politécnica de Madrid y Universidad de Harvard, España y EEUU. Director de la Plataforma Española de la Misión de Ciudades (citiES 2030).

Nieuwenhuijsen, Mark¹. Profesor de investigación, Institute of Global Health (ISGlobal).

Minguillón Bengochea, M^aCruz¹. Científica Titular, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), CSIC.

Moreno Pérez, Teresa¹. Profesora de Investigación y Directora del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), CSIC. Coordinadora de la Plataforma Temática Interdisciplinar de movilidad (PTI Mobility) del CSIC.

Oltra Algado, Christian¹. Investigador titular, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

Querol Carceller, Xavier¹. Profesor de Investigación, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua CSIC, España. Miembro de grupos de trabajo sobre calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud, Suiza.

Ramasco Sukia, Jose Javier¹. Profesor de investigación, Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos del CSIC. Coordinador de la Plataforma Temática Interdisciplinar de movilidad (PTI Mobility) del CSIC.

Robusté Antón, Francesc¹. Catedrático de Transporte, Universidad Politécnica de Cataluña.

EQUIPO C

Alfonso Cuenca. Letrado de las Cortes Generales. Director de Estudios, Análisis y Publicaciones del Congreso de los Diputados.

Ana Elorza. Coordinadora de la Oficina C en la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Izaskun Lacunza*. Coordinadora de la Oficina C en la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Maitte Iriondo de Hond. Técnica de evidencia científica y tecnológica.

Rüdiger Ortiz-Álvarez. Técnico de evidencia científica y tecnológica.

Sofía Otero. Técnica de evidencia científica y tecnológica.

Jose L. Roscales*. Técnico de evidencia científica y tecnológica.

Cristina Fernández-García. Técnica de conexión con la comunidad científica y la sociedad.

Miguel García Suárez. Técnico en prácticas.

Alesandra Puyuelo Estrada. Técnica en prácticas.

*Personas de contacto para este informe

Método de elaboración

Los Informes C son documentos breves sobre los temas seleccionados por la Mesa del Congreso que contextualizan y resumen la evidencia científica disponible para el tema de análisis. Además, recogen las áreas de consenso, disenso, las incógnitas y los debates en curso. El proceso de elaboración de los informes se basa en una exhaustiva revisión bibliográfica que se complementa con entrevistas a personas expertas en la materia y dos rondas de revisión posterior por su parte. La Oficina C colabora con la Dirección de Documentación, Biblioteca y Archivo del Congreso de los Diputados en este proceso.

Para la redacción del presente informe la Oficina C ha referenciado 530 documentos y consultado a un total de 21 personas expertas en la materia. Se trata de un grupo multidisciplinar en el que el 43 % se agrupa en torno a ciencias de la vida (medicina, geología, química, farmacia, biología, ciencias e ingeniería medioambientales), el 48 % pertenece a ciencias físicas e ingeniería (ingeniería química, industrial y del medio ambiente, de caminos canales y puertos, físicas) y el 10 % a ciencias sociales (sociología, ciencia política y administración pública). El 57 % trabaja en centros o instituciones españolas mientras que el 43 % está afiliado al menos a una institución en el extranjero.

La Oficina C es la responsable editorial de este informe.

¹ Especialistas que también han participado en la revisión total o parcial del informe.

La pérdida de calidad del aire derivada de la contaminación atmosférica es uno de los principales problemas de salud pública en Europa y España. La evidencia científica pone de relieve graves impactos sobre la salud humana, el medio ambiente y la economía que afectan de forma desigual a la población. Esta se muestra mayoritariamente preocupada ante la amenaza y, además, en muchos casos dispone de opciones limitadas para autoprotegerse. En las últimas décadas se ha consolidado un amplio marco de políticas públicas a nivel nacional y europeo que persiguen reducir la contaminación atmosférica y sus efectos adversos. Se trata de una herramienta útil, como refleja la mejora progresiva de la calidad del aire en España y el resto de los países comunitarios, pero en base a los datos disponibles, insuficiente. Así lo señala la Unión Europea que trabaja actualmente en la adecuación y mejora del marco regulatorio.

Este informe ofrece una visión general sobre el estado, impacto y principales desafíos entorno a la calidad del aire ambiente en el marco español y repasa las principales estrategias de mitigación que pueden articular una mejora de esta problemática en las diversas áreas que marcan la amplia interseccionalidad del desafío.

La calidad del aire

Los contaminantes que determinan la calidad del aire están definidos legalmente. Estos o sus precursores son emitidos a partir de actividades cotidianas. Destacan entre otras fuentes el tráfico rodado y transporte, el sector residencial, comercial e institucional, el energético, la actividad industrial y agropecuaria o la gestión de residuos.

De entre los múltiples contaminantes que definen la calidad del aire, las partículas en suspensión finas, seguidas del dióxido de nitrógeno y el ozono son los que causan más efectos adversos sobre la salud humana. A nivel nacional, y de forma comparable en otros países europeos, acortan la esperanza de vida ya que son responsables de unas 17.000, 4.800 y 2.400 muertes prematuras al año, respectivamente, y aumentan la morbilidad ya que provocan cáncer y agravan o causan otras muchas enfermedades. Los daños son sufridos principalmente por menores, personas mayores, y las personas con peor estatus socioeconómico, acentuando la desigualdad social. La mala calidad del aire supone también la pérdida de biodiversidad dado el carácter fitotóxico y la capacidad para alterar los ecosistemas que tienen los contaminantes, por ejemplo, mediante procesos como la eutrofización. En este sentido, destacan especialmente los óxidos de nitrógeno y azufre, el amoníaco y el ozono. Su impacto económico se estima entre 40.000 y 50.000 millones de euros para 2030, si bien existen muchas limitaciones y dificultades en la cuantificación de estas cifras.

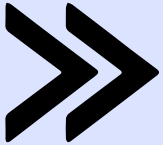
La gestión de la calidad del aire se apoya en un marco regulatorio que define las condiciones legalmente aceptables y objetivos a largo plazo y un sistema de vigilancia para monitorizar su estado y evolución y poder evaluar los riesgos y el grado de cumplimiento. El marco legislativo determina la presencia o niveles aceptables de cada contaminante en el aire. Por otro lado, establece reducciones progresivas para sus emisiones hasta 2030. Para abordar estos techos de emisiones, se apoya en políticas estratégicas que definen las acciones para alcanzar los objetivos de reducción establecidos en cada sector, desde el tráfico rodado y el transporte o el sector residencial, comercial e institucional hasta el sector energético, industrial y el agrícola, entre otros. Respecto a la vigilancia, existe para ello un conjunto de redes que monitorizan la presencia de los contaminantes mediante diversos tipos de mediciones y que también se apoyan en el uso de modelos de calidad del aire, lo que permite además la prospección. La red española cumple con los requisitos de las Directivas Comunitarias y se adecuan a los estándares de calidad internacionales.

Aunque los mayores desafíos se centran en las ciudades, se trata de una cuestión que tiene implicaciones en todos los niveles de gobernanza (local, regional, nacional e internacional). Además, la calidad del aire se vincula con otros retos de gran calado social como la cuestión climática, con la que está fuertemente interrelacionada, la salud pública o la justicia social y la economía.

En el foco

Dada su transversalidad, la comunidad experta destaca la necesidad de un enfoque sistémico en la gestión de la calidad del aire para reforzar aquellas estrategias que integren de forma coordinada las actuaciones en todos los niveles de gobernanza y acentúen las medidas que generen cobeneficios en todos los retos y sectores involucrados. La investigación es esencial para identificar y desarrollar este tipo de enfoques.

En España, como en otros países de su entorno, se han producido incumplimientos puntuales con los límites en aire de dióxido de nitrógeno y partículas en la última década, y de forma mucho más generalizada, para el ozono. Este contaminante supone un desafío clave en el contexto español. Las previsiones en base a medidas concretas planteadas desde la Administración General del Estado prevén una mejora generalizada de la situación para 2030, si bien algunos problemas prevalecen. La situación general es menos favorable si se compara la situación actual o prevista con los estándares para la protección de la salud establecidos por la OMS, marcadamente más estrictos que los niveles fijados por la normativa actual. Una gran parte del territorio español y europeo sobrepasa esos umbrales seguros para alguno o varios de los contaminantes.



Horizonte

Existen aspectos técnicos y regulatorios que pueden rediseñar la gestión de la calidad del aire en el medio plazo, así como avances en el desarrollo de estrategias de mitigación que pueden incorporarse en el marco de las políticas públicas.

La vigilancia puede reforzarse, entre otras formas, ampliando el alcance espacial, incorporando la medida de contaminantes de interés y preocupación creciente, aplicando nuevos desarrollos en medición, modelización y tecnología satelital, o complementarse atendiendo a nuevas prestaciones y avances en los tipos de sensores disponibles. A su vez, el incremento del grado de protección puede apoyarse en medidas estructurales y de contingencia para minimizar el impacto de los episodios de alta contaminación, cada vez más comunes en España, en la comunicación efectiva sobre la materia y los riesgos asociados y de forma más generalizada, en la modificación de los umbrales de contaminación aceptados. La nueva directiva europea de calidad del aire, actualmente en trámite para su aprobación, aborda buena parte de estas cuestiones. Persigue aumentar la protección de la salud pública, reforzar la vigilancia, mejorar el acceso ciudadano a la justicia para promover el derecho a un aire limpio y multiplicar el potencial de los mecanismos de información ciudadana. Un aspecto clave, y de gran complejidad dado el importante desafío que supone su consecución, es la propuesta de limitar la presencia tolerable de contaminantes en aire elevando su exigencia para acercarse o equiparar, aún por definir, los niveles máximos permitidos con los propuestos por la OMS.

Para ello, la comunidad experta señala que es necesario combinar medidas de carácter tecnológico, centradas mayormente en la reducción de emisiones de una actividad, con otras de cambio social, asociadas a la reducción de la incidencia de la actividad contaminante. Supondrían, a modo de ejemplo, plantear medidas técnicas que reduzcan la emisión de los vehículos que se fabrican, por un lado, y planes de movilidad u otros que contribuyan a reducir el uso del coche por otro.

El informe recoge las principales intervenciones en sectores clave, destacando:

- **Tráfico rodado:** el objetivo general es la reducción del número de vehículos y de las emisiones de los que sigan circulando. Se apoya en el cambio modal, el transporte público y el activo como opciones preferidas, la aplicación de zonas restringidas para el acceso de los vehículos, la implantación de alternativas tecnológicas para reducir emisiones, como complementar el parque con vehículos bajos en emisiones, el rediseño del reparto de mercancías y el rediseño del espacio urbano, actuando sobre la movilidad o la presencia de espacios verdes.
- **Sector doméstico y residencial:** se centra en medidas orientadas al aumento de la eficiencia energética y el uso de sistemas calefactores y combustibles adecuados en el sector.
- **Industria:** a pesar de una mejora generalizada en las emisiones del sector persisten algunos problemas de alcance regional y aún hay margen de mejora.
- **Sector agropecuario:** las acciones de mitigación se centran en las emisiones de amoníaco asociadas a los purines y las de partículas y otros contaminantes asociados a la quema de los residuos agrícolas.

Las mejores prácticas para la mejora de la calidad del aire están siempre condicionadas a un adecuado diagnóstico sobre las causas del problema y la potencial eficacia de las medidas a aplicar, para actuar así de forma efectiva en los principales sectores responsables. Además, es esencial atender a la dimensión ciudadana: su información, percepción y comportamiento son clave. Existen estrategias de comunicación efectivas que puede favorecer la autoprotección y reducción de emisiones por parte de la ciudadanía a la vez que refuerzan el compromiso y colaboración de la población en el desarrollo y concreción de las políticas públicas.

Calidad del aire: avances y mejores prácticas

Introducción

La contaminación atmosférica es la causa de la mala calidad del aire. Esta constituye uno de los principales problemas de salud pública en Europa y España.

La pérdida de calidad del aire derivada de la contaminación atmosférica es uno de los principales problemas de salud pública en Europa y España¹⁻⁶. Se estima que es la principal causa ambiental de muerte prematura en el continente⁷, con un fuerte impacto también a nivel global⁸. Además, es responsable de importantes daños ecológicos^{9,10}. El impacto económico^{11,12} estimado para 2030 se sitúa en torno al 4% del PIB anual en España¹¹.

La contaminación del aire preocupa a la mayoría de la población^{13,14}, que sufre de forma desigual sus efectos¹⁵⁻¹⁷ y, en muchos casos, dispone de opciones limitadas para autoprotgerse¹⁸. Cada vez más personas afectadas por el problema recurren a los tribunales, muchas con sentencias a su favor en varios países europeos (Francia, Alemania, Reino Unido, Italia o República Checa)^{14,19}, lo que promueve el debate en torno al derecho al aire limpio²⁰⁻²². Aunque los principales problemas se encuentran en las grandes ciudades, donde se concentran la mayoría de la población y las fuentes contaminantes²³, la calidad del aire responde a fenómenos complejos. Presenta múltiples causas asociadas a distintos sectores (energía, transporte, urbanismo, industria, agricultura y ganadería, etc.) y en diferentes escalas geográficas interconectadas, desde procesos a escala de calle a la contaminación transfronteriza transportada a largas distancias. Por tanto, requiere de una coordinación efectiva entre los distintos niveles de gobernanza^{19,24} y las políticas públicas de las áreas involucradas^{23,25,26}.

La Constitución española recoge el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado²⁷. Asimismo, en la última década, se ha consolidado un amplio marco de políticas públicas que persiguen reducir la contaminación atmosférica y sus efectos adversos. La Comisión Europea señala que han sido una herramienta útil, pero insuficiente⁷. A pesar de la mejora generalizada, Europa y España aún se enfrentan a importantes desafíos en este ámbito^{4,28-32}.

Contaminantes principales

Los contaminantes que determinan la calidad del aire están definidos legalmente. De entre ellos, las partículas en suspensión, especialmente las finas, seguidas del dióxido de nitrógeno y el ozono suponen los mayores desafíos ya que son los que más efectos adversos sobre la salud causan.

La calidad del aire hace referencia a la presencia de contaminantes atmosféricos (**Cuadro 1**) que destacan por sus múltiples efectos adversos^{6,33-37}. Entre ellos, por su mayor impacto, pueden considerarse prioritarios el material particulado, el dióxido de nitrógeno y el ozono. Además de las fuentes locales, en el caso del ozono y las partículas, su transporte a largas distancias hace necesario evaluar los posibles impactos lejos de las zonas donde se emiten estos compuestos o sus precursores³⁸.

El material particulado está formado por un conjunto de partículas sólidas y líquidas en suspensión. Su peligrosidad depende tanto de su tamaño⁵², siendo las partículas finas (**Cuadro 1**) las que causan mayores efectos adversos, como de su composición, que es compleja y variable. Pueden contener polvo mineral, cenizas, hollín, compuestos orgánicos, metales, cemento o polen, entre otros⁵³. Asimismo, su origen puede ser natural (como el polvo sahariano) o derivado de la actividad humana. Respecto a la últimas, si se atiende al [inventario nacional de emisiones](#) la gestión de residuos (41%), en especial (40% del total) la quema a cielo abierto de los restos de poda vegetal, el sector energético (27%; principalmente combustiones no industriales del sector doméstico, comercial e institucional), el industrial (12%) y el transporte rodado (10%) constituyen las principales fuentes de emisiones de partículas finas en España⁵⁴. Además, las partículas finas pueden tener un [origen secundario](#), formándose en la atmósfera a partir de gases precursores y partículas preexistentes. Algunos

· **Inventario de emisiones:** cuantificación de las emisiones de diversos contaminantes para todos los sectores implicados en una región determinada. Los inventarios nacionales que se reportan a Europa basan sus estimaciones en una metodología estandarizada y validada a nivel europeo que garantiza la comparabilidad entre países. La modelización de la calidad del aire en escenarios futuros (proyecciones) o pasados de emisiones se basa en estos datos por lo que a nivel científico existen inventarios adaptados y optimizados para los fines concretos que persiguen los modelos.

· **Contaminante secundario:** aquel que se forma en la atmósfera a partir de otros contaminantes o precursores que se encuentran en la misma.

de ellos son el amoníaco (originado en un 96,8 % por la actividad agrícola y ganadera⁵⁴) y una gran variedad de compuestos orgánicos entre otros^{55,56}.

La calidad del aire viene determinada por la presencia de contaminantes atmosféricos, lo que incluyen múltiples sustancias químicas y otras formas de contaminación como el ruido. Existen miles de contaminantes sintetizados por el hombre cuyos posibles efectos, en muchos casos, se desconocen.

Los contaminantes responsables de la mala calidad del aire o sus precursores son emitidos a partir de actividades cotidianas: tráfico rodado, el sector residencial, comercial e institucional, la actividad industrial y agropecuaria o la gestión de residuos.

Cuadro 1. Contaminación atmosférica.

Se refiere a la presencia de gases, partículas, radiación, ruido, polen, o patógenos, entre otros, con efectos perjudiciales sobre la salud y el medio ambiente. Algunos, son causa de una elevada mortalidad, como los vinculados a la calidad del aire o el ruido^{3,36,39,40}, por lo que han captado la atención científica y pública.

La calidad del aire viene determinada por la contaminación atmosférica que, desde la perspectiva legal, se establece a partir del cumplimiento de valores límite y umbrales para la presencia de los siguientes compuestos⁴¹⁻⁴³: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), partículas en suspensión de diámetro inferior a 10 micras (PM₁₀) y partículas finas o de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}), monóxido de carbono (CO), metales pesados (plomo, arsénico, cadmio, níquel), benceno, hidrocarburos aromáticos policíclicos (benzo(a)pireno) y ozono (O₃). Además, la normas europeas y españolas contemplan otras mediciones reguladas, también con valores objetivo u obligaciones/recomendaciones de medición, como las de otros óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, mercurio, amoníaco, carbono orgánico y elemental, y compuestos orgánicos volátiles^{32,44,45}.

Además de los ya incluidos en la legislación, existe un elevado número de contaminantes potencialmente relevantes para la salud y el medio ambiente, entre los que destacan cientos de miles de químicos sintetizados por el ser humano (de uso industrial, pesticidas, cosméticos, medicamentos, etc.)⁴⁶. La comunidad experta señala la necesidad de ampliar nuestro conocimiento sobre su toxicidad, impactos y gestión pública^{47,48}. Además, es necesario vigilar y controlar los ambientes interiores (hogares, puesto de trabajo, centros educativos, etc.), donde pasamos la mayor parte del tiempo (hasta el 100% en contextos de dependencia). La mala calidad del aire en estos espacios tiene, como la del aire ambiente, graves efectos sobre la salud, por lo que mejorar su conocimiento es esencial para desarrollar mecanismos y medidas legales que protejan a la población⁴⁹⁻⁵¹.

Los **óxidos de nitrógeno** se generan en los procesos de combustión, destacando el tráfico rodado⁵⁷ que, en España, supone el 37 % de las emisiones, seguido por la industria (18 %), la agricultura y ganadería (12 %) y la gestión de residuos (9 %)⁵⁴.

El ozono no cuenta con fuentes directas significativas. Este gas se forma enteramente en la atmósfera a partir de reacciones fotoquímicas (que requieren de la radiación solar) complejas y diversas entre distintos precursores^{45,58-60}. Los principales son los óxidos de nitrógeno y una gran variedad de **compuestos orgánicos volátiles**. Estos últimos proceden de fuentes naturales (la vegetación) y actividades humanas, destacando en España el uso y producción de disolventes (48 %; 21 % disolventes del ámbito doméstico, 10 % productos químicos, 10 % recubrimientos como pinturas, etc.), la agricultura y ganadería (13 %), la industria (10 %) y el transporte rodado (4 %)⁵⁴.

A nivel nacional los inventarios de emisiones permiten evaluar las principales fuentes de los contaminantes^{54,57}. Sin embargo, los porcentajes de emisión no necesariamente representan el nivel de exposición o el origen de los contaminantes que encontramos en el ambiente urbano o en un lugar concreto^{61,62}. Esto ocurre porque las fuentes de emisión no se distribuyen homogéneamente y los procesos atmosféricos de formación/eliminación pueden alterar su presencia e impacto relativo, entre otro motivos⁶²⁻⁶⁴. Un ejemplo claro es el tráfico rodado, que emite a mayor proximidad de los ciudadanos que otras fuentes aumentando así de forma significativa la exposición a los contaminantes que provienen de este sector⁶³⁻⁶⁶.

· **Óxidos de nitrógeno**: conocido como NO_x, es un término genérico que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones, principalmente el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). Existen además otros gases compuestos de O y N que no se agrupan bajo el término NO_x pero pueden ser de interés (NO₃, N₂O₅ etc.).

· **Compuestos orgánicos volátiles**: compuestos que a temperatura ambiente son gaseosos formados por estructuras de carbono que incorporan otros elementos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. De origen tanto natural como antropogénico los más abundantes en el aire son metano, tolueno, n-butano, i-pentano, etano, benceno, n-pentano, propano, isopreno y etileno. Se clasifican en función de su peligrosidad en tres grupos (el más peligroso incluye benceno, cloruro de vinilo y un dicloroetano) y su potencial para generar ozono varía fuertemente entre ellos, dos factores para tener en cuenta en su gestión.

Impactos

La contaminación del aire causa problemas de salud pública, medio ambientales, desigualdad y constriñe la economía en todo el mundo.

En España, y de forma comparable en otros países europeos, la mala calidad del aire acorta la esperanza de vida ya que el material particulado fino, el dióxido de nitrógeno y el ozono causan unas 17.000, 4.800 y 2.400 muertes prematuras al año, respectivamente, y aumentan la morbilidad ya que provocan cáncer y agravan o causan otras muchas enfermedades.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y la estadounidense (US EPA), entre otras, han establecido metodologías científicas para identificar los efectos que causan los contaminantes y/o cuantificar su impacto en la salud de la población.

Efectos sobre el ser humano

La justicia británica sentó precedente al establecer por primera vez en un país del entorno europeo la contaminación del aire como la causa oficial de muerte de una menor⁶⁷. Existe consenso científico sobre los graves efectos en la salud causados por la mala calidad del aire, así como sobre la validez y la robustez de los métodos usados para cuantificarlos e identificar los mecanismos por los que se producen^{16,8,36,68-70}. Este conocimiento se asienta sobre una **visión epidemiológica, toxicológica y clínica**. Los efectos adversos ocurren a concentraciones bajas, especialmente en menores^{17,71}. De hecho, para contaminantes como el material particulado, no hay un límite inferior seguro en el que no se produzca ningún efecto^{63,72}. Además, el material particulado fino es el contaminante al que se atribuye un mayor número de efectos adversos^{36,73-75}.

Los contaminantes del aire generan y agravan múltiples enfermedades y son carcinogénicos^{70,76-79}. Por ello, causan un aumento de la **morbilidad** y mortalidad, reducen la esperanza de vida y aumenta el número de años que las personas viven en condiciones de mala salud o con discapacidad^{8,11,33,63,69,80}. La evidencia en torno a los efectos descritos es robusta⁷⁰, tanto a nivel nacional como internacional¹⁸¹⁻⁸⁶, lo que permite abordar el reto científico de establecer relaciones de causalidad^{9,36,68,73,74,87,88} (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Efectos y causalidad

La causalidad es la posibilidad de establecer una relación de causa-efecto entre la presencia de un contaminante y una consecuencia sobre la salud. La organización Mundial de la Salud (OMS) evalúa la evidencia científica disponible para establecer los efectos de los contaminantes y ofrece recomendaciones cuantitativas para evaluarlos y prevenirlos^{36,63,89-94}. La metodología de la Agencia Europea de Medio ambiente (EEA, por sus siglas en inglés) para estimar la carga de enfermedad (el efecto) en la población sigue mayormente las recomendaciones de la OMS⁹⁵ y calcula la mortalidad causada (como número de muertes prematura y como años de vida perdidos) y la morbilidad (expresada como años vividos con enfermedad y discapacidad)^{96,97}. Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. establece un gradiente de causalidad entre un efecto y la presencia de un contaminante mediante la evaluación del nivel de evidencia, que clasifica como: relación causal; causa probable; indicativo de causalidad, se requiere más evidencia para establecerla con claridad; inadecuado para evaluar causalidad; e improbable que haya causalidad⁷³⁻⁷⁵. Atendiendo a los tres niveles más altos de causalidad los principales efectos del material particulado, el dióxido de nitrógeno y el ozono considerados conjuntamente son:

- Aumento de la morbilidad y mortalidad a corto y largo plazo⁷³⁻⁷⁵, causa o agravamiento de enfermedades cardiovasculares (hematológicas, isquemia, fallo cardíaco y cerebrovascular)^{36,73,89,91}, causa o agravamiento de afecciones respiratorias como el asma en niños^{17,74,75}, alteración de la función pulmonar en niños y adultos^{17,74,75} e inflamación general de las vías respiratorias y los pulmones⁷⁴.
- Efectos sobre el sistema respiratorio a largo y corto plazo. Destacan la causa o agravamiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)⁷³, infección en vías respiratorias, alteración del desarrollo pulmonar en niños y asma en adultos⁷³⁻⁷⁵. También producen alteraciones del sistema nervioso (pérdida cognitiva, enfermedades neurodegenerativas y del desarrollo del sistema nervioso)^{1,73,75,98-100}, de alteración de la función metabólica (sobrepeso, hipertensión, etc.)⁷⁴ y cáncer de pulmón^{73,75}, con importantes avances recientes sobre la evidencia en este último^{78,101}.
- Diabetes tipo II⁷³, baja calidad del esperma^{73,74}, efectos sobre el sistema inmune¹⁰², efectos sobre el embarazo (parto prematuro, bajo peso)^{17,73-75}, causa de otros tipos de cáncer (pecho^{77,81}, vejiga⁷⁷, digestivo⁸¹) y otros.

• **Epidemiología, toxicología y clínica:** la primera relaciona la presencia de los contaminantes con patologías y mortalidad; la visión toxicológica básicamente se centra en los mecanismos biológicos que desatan los efectos observados; la clínica se basa en la evaluación de los efectos debidos a la exposición controlada en humanos.

• **Morbilidad:** la morbilidad se refiere al grado o nivel de enfermedad o padecimiento que experimenta una población o un individuo. En términos generales, la morbilidad se refiere a la proporción de personas en una población que están enfermas o que tienen alguna afección médica.

Actualmente, los estudios estiman que el material particulado fino, el dióxido de nitrógeno y el ozono fueron, solo en 2020, responsables respectivamente de 238.000, 49.000 y 24.000 muertes prematuras en Europa¹⁰³. De ellas, 17.000, 4.800 y 2.400, respectivamente, se produjeron en España¹⁰³. La mortalidad por causas cardiovasculares es la más importante, seguida de las respiratorias^{185,104}. Por otra parte, si se considera solo la mortalidad a corto plazo en España, es decir, aquella que se produce a lo sumo 15 días después del pico de contaminación, algunos estudios estiman 10.000 muertes anuales¹⁰⁵.

A pesar de la extensa evidencia en el campo de la salud, se sigue investigando sobre cuestiones como la exposición combinada y cambiante a múltiples sustancias⁶⁹, incluyendo los denominados contaminantes de creciente preocupación¹⁰⁶ (**Cuadro 3**) y los mecanismos que determinan la toxicidad de todos ellos^{69,72,90}.

Se han identificado algunos contaminantes que, a pesar de no estar incluidos en el marco regulatorio, requieren especial atención y vigilancia científica, administrativa y social dada su peligrosidad o relación con otros contaminantes.

Cuadro 3. Contaminantes atmosféricos de creciente preocupación

Son sustancias que destacan por la evidencia sobre su peligrosidad y abundancia, por su potencial para alterar el clima (los llamados contaminantes climáticos de vida corta) o su papel como precursoras o indicadoras de otros contaminantes. Aunque aún no se incluyen en la lista de contaminantes legalmente regulados (**Cuadro 1**), la comunidad científica avanza en su investigación^{106,107} y destaca la necesidad de prestarles una mayor atención^{19,106}.

- Algunos son el resultado de una mejor comprensión de los factores que determinan el potencial tóxico del material particulado:
 - ◊ **Partículas ultrafinas** (UFP, por sus siglas en inglés, o $PM_{0,1}$, inferiores a 0,1 micras): destacan por su alto potencial tóxico. Aún es necesario mejorar el conocimiento sobre ellas¹⁰⁸⁻¹¹⁰.
 - ◊ **Carbono negro**: partículas en el rango finas-ultrafinas ($PM_{2,5}$ - $PM_{0,1}$) formadas por carbono elemental grafitico, como el hollín. Destaca por su potencial tóxico (está fuertemente relacionado con los efectos adversos del material particulado) y su acción sobre el clima (calentamiento)^{108,111-113}. La comunidad experta recalca la importancia de mejorar el conocimiento sobre estos aspectos, así como armonizar y mejorar la metodología para su determinación¹¹⁴⁻¹¹⁶.
- Otros son compuestos como el **amoniaco** (además de ser precursor de partículas finas, está escasamente monitorizado en la actualidad¹¹⁷ y la reducción de sus emisiones se considera un serio desafío a nivel europeo¹¹⁸), los **Compuestos Orgánicos Volátiles** (COV, precursores de ozono y partículas finas)⁴⁵, el **metano** (actúa como precursor del ozono y es un gas de efecto invernadero sobre el que requiere un mayor conocimiento¹¹⁹) o el **levoglucosano** (indicador de la quema de biomasa).

Inequidad social

Los efectos adversos de los principales contaminantes del aire se reparten de forma desigual en la población y perjudican principalmente a menores, personas mayores, y a las personas con peor estatus socioeconómico.

Existe una marcada desigualdad en torno a los efectos que la contaminación del aire tiene sobre la población^{6,15,16,120-124}. Menores, personas mayores y personas con patologías previas constituyen los principales grupos vulnerables y sufren los efectos sobre la salud más frecuentemente y con mayor gravedad³⁴. Los efectos se producen durante el embarazo y el desarrollo hasta la edad adulta, con datos que señalan unas 1.200 muertes anuales de menores de 18 años en Europa¹⁷. Entre otros aspectos afecta su desarrollo cerebral^{125,126} y el rendimiento cognitivo¹²⁷, por lo que existen algunas iniciativas destinadas a proteger los entornos escolares de la contaminación atmosférica¹²⁸⁻¹³⁰. Respecto a los mayores, se espera que la vulnerabilidad se agrave en el futuro, si se consideran las tendencias demográficas^{131,132}. Además, los datos apuntan que las personas con peor estatus socioeconómico están más expuestas a la contaminación del aire^{15,16,34,36,122,133-135}. Estas diferencias (en la mortalidad asociada, entre otras) se observan entre barrios, ciudades y países^{6,124,136}. La comunidad experta destaca la falta tanto de acciones concretas sobre esta problemática en las políticas europeas, como de datos y metodologías estandarizadas en el área^{16,123,124,137}. En este sentido, estudios recientes proponen mecanismos y nuevas herramientas para actuar y ampliar el desarrollo de la justicia ambiental^{121,124,133,138,139}.

Mediante su actividad fitotóxica y su capacidad para alterar los ecosistemas los óxidos de nitrógeno y azufre, el amoníaco y el ozono provocan la pérdida de biodiversidad y daño a la vegetación, incluyendo la pérdida de productividad agrícola.

Efectos ecológicos

La mala calidad del aire altera los procesos ecológicos y el desarrollo vegetal, lo que daña la biodiversidad y los **servicios ambientales**^{9,10} y reduce la productividad agrícola^{11,140,141} y altera los espacios naturales^{10,32,142}. Los óxidos de nitrógeno y azufre y el ozono son fitotóxicos, por lo que dañan la vegetación^{9,10,143-145}. Además, el **depósito de azufre y sobre todo de nitrógeno** que forma parte de la composición de los contaminantes señalados¹⁴³ altera los ecosistemas y afectan a los organismos mediante procesos de **acidificación** y **eutrofización**. El amoníaco, incluido entre los contaminantes de creciente interés (**Cuadro 3**), destaca también por los efectos y riesgos medio ambientales descritos^{10,146,147}.

A pesar de ello, aproximadamente en un quinto del territorio español se superan los niveles de los contaminantes establecidos para la protección de la vegetación y los ecosistemas de algún contaminante, sobre todo para el ozono^{30,148-150}. En este campo, distintos estudios señalan que los índices que calculan el daño causado por éste basándose solo en su concentración sobrestiman su impacto en zonas mediterráneas^{151,152}. Para hacer una evaluación más precisa, la comunidad experta señala el uso de índices que integren los factores ambientales y fisiológicos que explican el nivel de afección por ozono sobre la vegetación. Respecto a la acidificación, los datos nacionales sobre pH en lluvia sugieren que no es un problema reseñable¹⁵³, al contrario que la eutrofización, con efectos significativos en Europa y España^{32,147}. La **carga crítica** de eutrofización es superada en diversas zonas de Europa, siendo más afectadas el Valle del Po (Italia), las áreas fronterizas entre Holanda, Alemania y Dinamarca y el noreste de la península ibérica¹⁴⁷. La comunidad experta destaca la importancia de coordinar y reforzar la vigilancia y el conocimiento científico sobre los efectos de estos contaminantes en los ecosistemas mediterráneos, peor caracterizados que en otras regiones bioclimáticas¹⁵⁴.

Efectos económicos y coste

En España algunas estimaciones señalan que la mala calidad del aire tiene un coste de entre 30.000 y 40.000 millones de euros (2030) principalmente en gastos sanitarios. Además, genera una reducción de la productividad laboral, daños en materiales, bienes o cultivos y la reducción de algunas actividades económicas, entre otros.

La contaminación atmosférica afecta el bienestar^{155,156} y a la economía^{11,12,157,158} (disminución del PIB¹⁵⁹, de la productividad laboral¹⁶⁰⁻¹⁶², daños en los materiales y bienes, entre otros⁷³). El coste estimado relacionado solo con el impacto en la salud en Europa es de más de 900.000 millones/año (2020)¹¹, entre 30.000 y 40.000 millones en España^{11,105}. España se sitúa a mitad del ranking europeo respecto al coste si se consideran los datos normalizados por el PIB^{11,163}, donde la reducción de la esperanza de vida, seguido por la morbilidad y el daño ecológico y sobre la vegetación¹⁴¹ suponen los costes más elevados^{11,155}. Para una comunidad autónoma, solo el coste derivado de los ingresos hospitalarios asociados al dióxido de nitrógeno puede alcanzar los 120 millones de euros anuales⁹⁶. Por habitante, el coste en España oscila entre los 400 y los 3.000 €/año, en función de la ciudad estudiada¹⁵⁵. Dichas estimaciones económicas son una herramienta útil para evaluar y desarrollar políticas públicas, aunque han de considerarse con cautela. El personal experto señala la importancia de mejorar el conocimiento sobre el impacto económico de la contaminación, dada la falta de datos y las dificultades metodológicas que enfrenta (la monetización de aspectos socio-ambientales, como la pérdida de biodiversidad, entre otros)^{11,136,155,158,159}.

- **Servicios ambientales:** los servicios de ecosistemas, servicios ecosistémicos o servicios ambientales son recursos o procesos de los ecosistemas naturales que benefician a los seres humanos. Incluyen productos como agua potable limpia, madera, alimentos etc. y procesos tales como la descomposición de desechos.
- **Depósito de azufre y nitrógeno:** los óxidos de nitrógeno, de azufre e incluso las partículas sufren procesos que conllevan el depósito sobre los suelos o las masas de agua. Suponen aportes extra de nitrógeno y el azufre que alteran el equilibrio de los ecosistemas con graves consecuencias para los mismos.
- **Acidificación:** proceso en el cual la acidez del medio (suelos, aguas, atmósfera) aumenta debido a la liberación de compuestos ácidos, especialmente dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), en la atmósfera.
- **Eutrofización:** aporte excesivo de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, en un ecosistema acuático o terrestre que favorece cambios en su composición específica que pueden tener graves consecuencias para el mismo (falta de oxígeno en acuáticos, proliferaciones de especies indeseadas en terrestres etc.).
- **Carga crítica:** cantidad máxima de un contaminante que puede tolerar un ecosistema sin que se produzcan efectos adversos significativos.

Hacia un enfoque sistémico

La mitigación de la mala calidad del aire requiere un enfoque sistémico que se centre en medidas que generen cobeneficios en todos los retos ligados a la calidad del aire (cambio climático, salud, inequidad, etc.) y sectores involucrados.

La calidad del aire y la cuestión climática están fuertemente interrelacionadas en sus causas, efectos y soluciones, por lo que requieren de políticas integradas.

Múltiples sectores interconectados: cobeneficios

La calidad del aire tiene implicaciones e interconecta áreas dispares como la salud, la economía o el bienestar y la justicia social, y sectores diversos como industria, urbanismo, residencial y comercial, agricultura o movilidad^{24,37,71,164}. A la vez, está fuertemente vinculada a otras problemáticas medioambientales, especialmente, a la cuestión climática. Todas estas conexiones, requieren de un alto grado de coordinación en la gobernanza – como señala el Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica³⁷ y su reciente actualización¹⁶⁴ o la Estrategia de Salud Ambiental⁷¹. Además, son la base para aplicar enfoques sistémicos (de las partes y sus interconexiones). Ello permitirá identificar medidas que presenten **cobeneficios** en varias de ellas y rediseñar las áreas y sectores vinculados a la causa del problema^{26,165,166}. Por ejemplo, el rediseño urbano (espacios verdes, entornos que posibilitan el transporte activo, etc.) puede reducir el tráfico rodado y las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero asociados, a la vez que actúa sobre la salud de la población (ver sección Tráfico Rodado)¹⁶⁷. Las intervenciones o medidas de mitigación que no consideran esta perspectiva pueden resultar contraproducentes; de hecho, existen algunos métodos para evaluar estos posibles impactos no deseados^{18,26,168,169}.

Clima y calidad del aire

El cambio climático y la mala calidad del aire son fenómenos diferentes, aunque estrechamente relacionados^{25,170-173}. Por un lado, muchas de las fuentes de emisiones son comunes en ambas problemáticas (principalmente, debidas al uso de combustibles fósiles)^{8,171,174,175}. Mientras que el cambio climático incluye el calentamiento global debido a la emisión de gases de efecto invernadero (sobre todo, dióxido de carbono), la calidad del aire atiende a otro grupo de contaminantes (**Cuadro 1**)⁴¹. Algunos de estos también contribuyen al efecto invernadero (como el ozono, el carbono negro y otros contaminantes climáticos de vida corta, **Cuadro 3**). Otros tienen el efecto contrario (las partículas, a excepción del carbono negro, minimizan el calentamiento por reflejar la radiación incidente)^{171,172,174,176,177}. Por otro lado, las condiciones ambientales derivadas del cambio climático (prevalencia anticiclónica, una mayor temperatura, menos viento, más radiación, olas de calor e incendios más frecuentes)^{170,178} favorecerán la presencia de partículas¹⁷⁹, las emisiones de compuestos volátiles y la formación de ozono^{180,181}. Además, los efectos que los contaminantes tienen sobre la salud y el medio ambiente (mortalidad, daño a las plantas, etc.) se agravan bajo el escenario del cambio climático^{25,170,180,182-191}.

Por ello, las políticas públicas orientadas a mitigar el cambio climático y la mala calidad del aire han de estar integradas^{185,186,189,192}. Esto incluye las estrategias de prevención de sus impactos simultáneos sobre la salud (olas de calor, contaminación, sequía, incendios, nuevas enfermedades, etc.). Los enfoques integrados ofrecen un balance global mejor que los enfoques unidireccionales^{173,177,192,193}, ya que presentan beneficios sobre la salud o la economía que van más allá de la reducción simultánea de emisiones contaminantes^{173,174,194}. Sin embargo, las interrelaciones son complejas y no siempre lineales. Por ejemplo, parte de la comunidad experta hace hincapié en que medidas consideradas propicias desde la cuestión climática, como el uso de vehículos diésel o la combustión de biomasa, pueden comprometer los objetivos de mejora de calidad del aire (por aumentar las emisiones de dióxido de nitrógeno en el primer caso, y las de partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos volátiles en el segundo)¹⁹⁵⁻¹⁹⁸.

En este contexto, la estrategia ambiental europea se centra en políticas públicas transversales que, con el objetivo de la neutralidad climática, integran y abordan también la mejora de la calidad del aire actuando como instrumentos sistémicos. Destacan en este sentido el Pacto Verde Europeo¹⁹⁹, la Estrategia de Cero Emisiones²⁰⁰, la misión sobre ciudades climáticamente neutras²⁰¹ y de forma más específica, el paquete europeo "Aire Limpio"^{5,202}.

· **Cobeneficios:** el concepto surge en el contexto internacional sobre la mitigación del cambio climático. Son aquellos beneficios obtenidos a partir de las medidas de mitigación que van más allá de su objetivo intrínseco de reducir de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Protección y gestión de la calidad del aire

Aunque España y Europa cuentan con un amplio y consolidado marco legislativo, la CE ha señalado la necesidad de modificar la actual directiva europea de calidad del aire para aumentar la protección de la salud pública y reforzar la vigilancia, la justicia ambiental y el papel de los mecanismos de información ciudadana, entre otros aspectos.

La calidad del aire en buena parte del territorio español y europeo no cumple con los estándares de salud de la OMS, más estrictos que los niveles fijados por la normativa actual (que también se incumple en algunos parámetros).

Marco legislativo

El 75% de los españoles señala no haber oído hablar sobre las normas relativas a la calidad del aire¹³. Sin embargo, la UE sustenta la protección de la salud de las personas respecto a la contaminación atmosférica en cuatro líneas de actuación que, junto a otros tipos de instrumentos²⁰³, persiguen reducir la exposición de las personas a la contaminación.

- **Límites de contaminantes en el aire.** El marco nacional¹⁴¹⁻¹⁴³ y europeo^{44,204-206} establecen límites sobre la presencia tolerable de estos y estandarizan los parámetros metodológicos y la comunicación en la materia. Cuando los valores límites se superan, se ha de desarrollar un plan de mitigación que se transmite a la Comisión Europea a través de la Agencia Europea de Medio Ambiente. En casos de incumplimientos no resueltos, la Comisión Europea puede iniciar procedimientos de infracción contra Estados miembros. A nivel europeo, se trabaja en la aprobación de la nueva directiva de calidad del aire^{7,207}, que pretende elevar el nivel de exigencia de estos baremos. Actualmente, el Parlamento Europeo ha aceptado la propuesta de la Comisión Europea presentando diversas enmiendas, propuesta que la segunda está revisado^{208,209}. Parte de la comunidad experta señala que esta puede constituir la mayor intervención en salud pública para toda una generación, capaz de prevenir enfermedades y mortalidad prematura a niveles mayores que otras intervenciones, como la prohibición de fumar en interiores^{137,210,211}.
- **Techos de emisiones.** Para mantener los niveles de los contaminantes por debajo de los límites establecidos, se fijan objetivos de reducción progresiva de sus emisiones, pautados hasta 2030 y ajustados a la situación de cada país²¹²⁻²¹⁵. Como ejemplo, para 2030, España tendrá que haber reducido las emisiones de dióxido de nitrógeno un 39% respecto a los niveles de 1990. La evaluación, monitorización y consecución de estos techos se establece a través de un plan nacional de control de la contaminación³⁷ y se evalúan los avances a nivel europeo¹¹⁸.
- **Regulaciones estratégicas.** Permiten aplicar medidas para ajustar el techo de emisiones en los sectores que las originan. Siguiendo con el ejemplo anterior, en el caso del dióxido de nitrógeno, el objetivo de reducción para 2030 se repartirá en acciones sobre el transporte, el tráfico rodado, la movilidad urbana u otros posibles sectores implicados. Para poder actuar donde es necesario, es imprescindible cuantificar las emisiones de los contaminantes por fuentes. Así, cada país de la UE establece a nivel nacional su propio inventario de emisiones. Aunque el de España^{216,217} cuenta con el reconocimiento internacional²¹⁸, existe abundante evidencia para la constante mejora de esta herramienta²¹⁹⁻²²⁸ incluyendo un reciente actualización de las pautas europeas²²⁹. Además, existen otros inventarios cuya metodología está optimizada a objetivos y escalas geográficas o temporales concretas para la gestión e investigación en calidad del aire^{230,231}.
- **Colaboración internacional.** Dado el alcance del problema, se requieren de convenios y herramientas internacionales²³²⁻²³⁶ que permitan la acción desde una perspectiva global¹²³⁷.

Además del marco regulatorio, España ha desarrollado durante los últimos años distintos planes y estrategias que abordan la calidad del aire a nivel nacional y regional^{37,71,164,238}.

Valores guía para la salud

La Organización Mundial de la Salud establece unos niveles recomendados para los contaminantes que definen la calidad del aire en función de la evidencia científica existente sobre sus efectos sobre la salud³⁶. Con su reciente actualización (2021), en función del contaminante considerado, entre el 88 y el 98% de las estaciones de vigilancia europeas reportan mediciones que superan los límites recomendados^{4,239}.

Los valores guía son, para la mayoría de contaminantes, marcadamente más exigentes que los límites establecidos en la Directiva europea en vigor y en las normas españolas actuales sobre calidad del aire, lo que se encuentra entre los motivos por los que dicha Directiva está bajo revisión^{7,36}. En esta dirección, el 63 % de la población española considera que deberían endurecerse las normas de calidad del aire aunque, paradójicamente, la mayoría desconoce cuáles son estas normas¹³.

España cuenta con una red de vigilancia de calidad del aire que cumple con los requisitos de las Directivas Comunitarias y es adecuada a los estándares internacionales.

Evaluación de la calidad del aire: vigilancia y modelización

La red española de vigilancia y el uso de [modelos de calidad del aire](#) son dos instrumentos esenciales en la gestión del problema. La primera constituye un activo clave para la protección de la salud pública y se apoya en distintas [metodologías instrumentales](#) para determinar la presencia de los contaminantes⁴¹. La segunda, permite evaluar el estado de la calidad del aire en escenarios diversos, por lo que resulta de gran utilidad para informar a los gestores en el desarrollo de las políticas públicas.

La realización de mediciones de la red de vigilancia atiende a criterios espaciales y a las posibles fuentes contaminantes, tal y como recoge el marco legislativo^{44,206}. En concreto, está compuesta por:

- **Red EMEP/VAG/CAMP**²⁴⁰. Gestionada por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), reporta [niveles de fondo](#) remoto a escala nacional²⁴¹ e información de interés científico en el marco de esta red y de otras redes y programas globales de los que AEMET forma parte²⁴²⁻²⁴⁶.
- **Redes autonómicas**²⁴⁷. Gestionan la vigilancia a nivel regional, incluyendo zonas rurales, de fondo, industriales, urbanas (de fondo urbano, tráfico rodado, otros) u otras.
- **Redes municipales**²⁴⁷. Tratan de recoger la complejidad de las áreas urbanas a nivel ciudad y/o áreas metropolitanas.

En España, el Laboratorio Nacional de Referencia de Calidad del Aire da apoyo técnico (trazabilidad a los datos, calibra patrones de transferencia de ozono, análisis de muestras, etc.) y evalúa y supervisa las redes y sus sistemas de calidad²⁴⁸. Las redes en su conjunto transmiten la información al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) y este a la Agencia Europea de Medio Ambiente, que la evalúa y pone a disposición de la Comisión Europea (encargada de evaluar el cumplimiento de las normas europeas), el Parlamento Europeo, la población, ONG, etc.

Por su parte, la modelización permite estimar los niveles en aquellos lugares donde no existen medidas directas y, así, complementar la red de vigilancia, ya que por razones técnicas y económicas no se puede medir en todo el territorio⁴¹. De esta forma, posibilita la predicción en tiempo real (composición de la atmósfera o el índice nacional de calidad del aire, ICA, por ejemplo)^{249,250}. Asimismo, su versatilidad permite proyectar a futuro o evaluar de forma retrospectiva cuestiones de gran interés, como la eficacia de las medidas de mitigación o su impacto económico y sobre la salud. Además, permite trabajar sobre escenarios basados en distintas opciones de políticas públicas sobre calidad de aire para entender mejor sus implicaciones y efectos^{37,251-255}.

Aunque la modelización y la toma de mediciones en España cuentan con el reconocimiento científico y técnico, no están carentes de desafíos (**Cuadro 4**). De hecho, el borrador de la nueva directiva de calidad del aire persigue reforzar algunos aspectos para apoyar la acción preventiva y propone medidas y estrategias para ello en estos campos^{7,256,257} (**Cuadro 4**).

• **Modelización**: mediante modelos matemáticos es posible estimar la cantidad de un contaminante presente en una zona a diferentes escalas temporales (prospectiva y retrospectivamente) y espaciales (macro, meso y microescala). Los modelos integran la complejidad de múltiples factores interrelacionados (emisiones, dinámica atmosférica, variables meteorológicas, orografía entre otros) que determinan la presencia de los contaminantes.

• **Medidas instrumentales**: la red de calidad del aire proporciona medidas estandarizadas en base a criterios metodológicos y de calidad específicos (RD 102/2011 y posteriores modificaciones) sobre los niveles a los que se encuentran los contaminantes en el aire. Las estaciones de vigilancia de la calidad del aire repartidas por todo el territorio nacional cuentan con instrumentación que permite determinar la presencia (concentración, deposición u otros parámetros) de los contaminantes. La instrumentación puede incluir sistemas de medida automáticos y en tiempo real, sistemas que requieren intervención manual, así como la toma de muestras (filtros, materiales adsorbentes etc.) que se analizan posteriormente en un laboratorio.

• **Niveles de fondo**: son aquellos niveles de contaminación que encontramos en el ambiente de forma continua sin relacionarse directamente con una fuente o actividad puntual específica. En el caso de la calidad del aire, se habla de niveles de fondo remotos y urbanos. Los primeros son propios de zonas alejadas de fuentes emisoras como ciudades u otros núcleos urbanos y/o núcleos industriales. Los segundos se ubican en las ciudades y no están asociados directamente a fuentes concretas (tráfico o cualquier otra) sino que recogen la influencia conjunta de todas ellas.

La vigilancia puede verse favorecida a través de avances en los sistemas de medición y en la modelización para enfrentar desafíos clave como los asociados a la resolución y representatividad espacial o la monitorización de nuevas sustancias.

Cuadro 4. Tendencias y vanguardia en vigilancia y modelización

Existen estudios sobre redes de monitorización internacionales que han puesto de manifiesto la importancia de adaptarlas a los nuevos retos sobre calidad del aire e integrar los avances científico-técnicos^{258,259}. Pueden destacarse:

- **Sensores de bajo coste.** Tienen el potencial de ampliar el marco de la vigilancia (mayor resolución espacial y accesibilidad, entre otros) con mediciones indicativas o cualitativas^{251,260-263} y presentan diversas aplicaciones científicas (ver sección 7). No obstante, los datos que proporcionan aún no son equiparables a los de las redes oficiales. A pesar de recientes progresos^{264,265}, se requiere de avances tecnológicos y regulatorios para elevar la calidad de los datos, su validación (certificación, estandarización) y el uso correcto de estos dispositivos^{266,267}. El MITERD ha abordado en algunas jornadas su estado de desarrollo y potencial²⁶⁸.
- **Sensores satelitales.** El potencial de estas tecnologías, de alcance global, aumenta con la innovación^{269,270}, en la que España colabora activamente^{271,272}. Europa cuenta con su propia infraestructura, COPERNICUS, que a través de su Servicio de Monitorización atmosférica (CAMS, por sus siglas en inglés)²⁷³ proporciona información sobre calidad del aire²⁷⁴⁻²⁷⁶. Es un campo prometedor, pero la explotación de datos está todavía en evolución.
- **Exposición personalizada.** La combinación de los datos generados por las tecnologías descritas, la geolocalización de las personas (dispositivos móviles, ciudades inteligentes, etc.), la inteligencia artificial y el uso de datos masivos (*Big Data*) pueden posibilitarla en el futuro^{258,275,277-281}.
- **Mejoras en las redes.** El borrador de la nueva directiva de calidad del aire plantea algunos cambios en los criterios de distribución espacial y clasificación de las estaciones. Asimismo propone abordar la medición de contaminantes emergentes (partículas ultrafinas, el carbono negro, el amoníaco, entre otros; **Cuadro 3**) por ejemplo a través de una red de las denominados super-estaciones^{7,256} y eleva los requerimientos de precisión en las medidas de los contaminantes, aspectos cuya implantación pueden representar un desafío. El aumento de los sistemas automáticos de medición, la dotación humana y económica, y la constante colaboración y guía con personal investigador experto son aspectos que también se están teniendo en cuenta en el debate internacional^{148,259,282-285}.
- **Modelos.** Mejorar la exactitud en las predicciones y estandarizar criterios de calidad y comparabilidad para que estas sean más robustas es una cuestión en constante desarrollo. El borrador de la nueva directiva europea contempla nuevos requisitos para mejorar el uso de la modelización y elevar su valor, sobre todo, en zonas con baja calidad del aire^{2,7,256}. En Europa, se avanza también en este sentido (grupo de trabajo FAIRMODE)²⁸⁶ y se trabaja en avances y mejoras prácticas para la vigilancia y el desarrollo de políticas públicas^{224,287,288}. En la actualidad, las investigaciones en modelización permiten evaluar la situación a un nivel geográfico muy detallado (para cada calle), algo que principalmente puede aplicarse en la gestión local de problemática muy concretas²⁸⁹⁻²⁹².

Estado de la calidad del aire en España

Tendencias temporales y cumplimiento

Existe un amplio consenso a nivel europeo y nacional^{4,30,35,150} en torno a la mejora generalizada de la calidad del aire en las últimas décadas que pone de relieve la efectividad de las políticas públicas aplicadas^{190,293,294}. Sin embargo, los expertos señalan que estos avances no son suficientes para proteger la salud pública^{7,207} ni extrapolables a nivel global³⁴. Por otro lado, la ciudadanía tiene la percepción de que la problemática no deja de empeorar¹³. Los últimos datos disponibles de calidad del aire en Europa y también en España confirman la tendencia positiva^{4,30,31,148,150}, aunque algunos problemas persisten en el marco nacional^{30,35,148,295}.

En la última década, en España se han dado incumplimientos del marco legal principalmente respecto a los niveles de dióxido de nitrógeno²⁹⁵⁻²⁹⁷, y el material particulado inferior a 10 micras^{35,148,295} de forma local y, de forma mucho más extensiva, los de ozono^{35,45,148,295}. Una situación similar se da en otros países de la Unión Europea²⁹⁸. En base a los datos disponibles

Como en otros países de nuestro entorno, existen algunos incumplimientos puntuales en torno a los niveles en aire de dióxido de nitrógeno y partículas, y de forma más generalizada para los de ozono.

Las previsiones en base a medidas concretas planteadas desde la Administración General del Estado prevén una mejora generalizada del cumplimiento para 2030, si bien algunos problemas en torno a las concentraciones de ozono o las emisiones de compuestos volátiles y amoníaco parecen persistir.

Para reducir las emisiones y acercarse a las recomendaciones de la OMS, es necesario combinar medidas de carácter tecnológico y otras de cambio social. La reducción de los altos niveles de ozono en España supone aún un reto científico.

algunos informes de asociaciones ecologistas estiman que, a causa de ello, en 2022, alrededor del 16% de la población española estuvo expuesta a niveles de contaminación que superaban los valores legales para algún contaminante, el 100% si se atiende a los nuevos niveles guía recomendados por la OMS¹⁴⁸.

Los confinamientos derivados de la pandemia por SARS-COV-2 supusieron un experimento global sin precedentes en la evolución temporal de la calidad del aire. Aunque se detuvo la actividad de buena parte de las fuentes de emisión de contaminantes²³⁹, su presencia no mostró tendencias homogéneas en todos los casos. Las reducciones mayores se produjeron en torno a los óxidos de nitrógeno, principalmente, por la ausencia del tráfico rodado^{60,299-302}. Sin embargo, en el caso de contaminantes de origen secundario, la tendencia fue menos evidente³⁰⁰. La presencia de partículas finas se vio favorecida por las emisiones de los sectores residencial y agrícola, y también la de ozono, de forma local, por algunos cambios en la composición de la atmósfera derivados del propio cese de actividad^{60,299,303}. Esta situación refleja la dificultad para conseguir reducciones efectivas de contaminantes secundarios³⁰⁴ y la necesidad de enfoques holísticos^{60,303} que consideren todos los precursores y los cambios químicos en la atmósfera en su conjunto³⁰⁰.

El Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica recoge un amplio grupo de medidas para la mejora de la calidad del aire^{37,164}. Con su aplicación, las estimaciones para 2030 señalan que España cumplirá con los niveles legales establecidos para la mayoría de los contaminantes, aunque es probable que persistan incumplimientos puntuales para algunos contaminantes y de forma algo más generalizada en el caso del ozono¹⁶⁴. Sin embargo, si se tiene en cuenta el endurecimiento de los valores límite en aire que propone la CE para 2030⁷, el panorama se presenta menos halagüeño.

Para alcanzar los niveles legislados en aire, es necesario atender a los objetivos de reducción de las emisiones. Respecto a las tendencias temporales, los datos sugieren un descenso significativo de las emisiones de los óxidos de nitrógeno y las partículas. Sin embargo, las de compuestos orgánicos volátiles y amoníaco (**Cuadro 3**) se mantienen estables o aumentan^{37,164}, situación que se aprecia también a nivel europeo e identificada como un desafío¹¹⁸. Además, algunas estimaciones para 2030 sugieren dificultades para el cumplimiento de los techos de emisión, esencialmente para compuestos volátiles^{164,253}, lo que supone un importante riesgo ecológico y para la salud. Recientemente, la Comisión Europea ha instado a España, junto a 14 países más, a reducir las emisiones de diversos contaminantes para respetar los compromisos derivados de la directiva europea de techos (2016/2284)³⁰⁵.

Desafíos: medidas tecnológicas y no tecnológicas

El principal desafío se centra en reducir las emisiones para situar los niveles de contaminación hasta los recomendados desde una perspectiva de salud pública, más allá del marco legal^{137,239}. Si bien es un objetivo complejo que requiere grandes esfuerzos^{60,239}, los datos señalan su rentabilidad económica y el significativo número de muertes prematuras que puede prevenir^{11,36,104,210,239,306}. Asimismo, algunos de los países de mayor actividad económica como EE.UU. o Noruega cuentan con límites en aire más exigentes para algunos contaminantes, como partículas finas, que los que recoge la normativa europea actual^{307,308}.

El objetivo requiere la combinación de medidas tecnológicas y no tecnológicas^{197,309,310} que se pueden agrupar bajo una mirada estratégica que empuja a los distintos sectores hacia grandes objetivos generales, como en el caso europeo¹⁹⁹ y el objetivo de contaminación cero para 2050²⁰⁰. Las medidas tecnológicas persiguen en general reducir las tasas de emisiones de los diferentes sectores de actividad y están en su mayor parte desarrolladas (como el coche eléctrico). Aunque necesarias, son insuficientes por sí mismas y algunos expertos señalan que pueden reportar menos beneficios intersectoriales que las medidas no tecnológicas^{18,26,311}. Estas últimas tratan de reducir la existencia de actividades contaminantes, actuando sobre los hábitos sociales y el consumo. Entre ellas, se incluyen: medidas "duras", de carácter coercitivo, como las restricciones de circulación, aparcamiento, etc., y "blandas", basadas en la mejora voluntaria de la actitud mediante información, educación y concienciación^{26,310,312}.

De la misma manera, es necesario comprender mejor los procesos que regulan la presencia de los contaminantes en la atmósfera y su evolución ante cambios en la composición del aire, incluso aquellos derivados de las propias acciones de mitigación^{313,314}. Es una cuestión especialmente crítica en el caso del ozono, uno de los principales problemas en España^{45,315} y en el caso de las partículas finas. La reducción de los dos a medio plazo requiere actuar sobre los precursores que permiten su formación, varios de ellos comunes para ambos contaminantes^{45,316}. Además, el personal experto destaca la necesidad de mejorar la caracterización de la composición de la partículas finas y, con ello, de su toxicidad^{317,318}. Asimismo, es preciso atender al desafío que constituyen los episodios de alta contaminación, cuya frecuencia se incrementa con el cambio climático^{319,320,321} (**Cuadro 5**).

Los episodios de alta contaminación requieren de estrategias a largo plazo que reduzcan los niveles de fondo de contaminación y medidas de acción inmediata que limiten las actividades contaminantes durante los mismos, entre otras. En España, destacan los episodios de alta contaminación debidos a intrusiones de polvo sahariano.

Cuadro 5. Episodios de alta contaminación

Pueden ser causados por emisiones de contaminantes derivadas de eventos locales, regionales o emisiones transfronterizas (antropogénicas o naturales) cuya formación, transporte o acumulación se ve agravada significativamente por condiciones meteorológicas concretas³²⁰. Incendios forestales, las intrusiones de polvo sahariano (calima), quemadas de restos agrícolas, una alta insolación o intensas condiciones anticiclónicas se encuentran detrás de este tipo de episodios³²⁰. En España, destacan las intrusiones de polvo sahariano (partículas)³²²⁻³²⁷ por sus impactos (directos y sinérgicos) socioeconómicos y sobre la salud^{322,328-336}. Existen otros episodios como los de ozono^{337,338} o, en contextos urbanos, altos niveles de óxidos de nitrógeno ante el aumento y la falta de dispersión de las emisiones locales^{289,339}.

La mitigación de los efectos de este tipo de eventos se centra en la aplicación de estrategias a largo y corto plazo³²⁰. Las primeras agrupan un conjunto de medidas estructurales de carácter permanente que persiguen reducir los niveles de contaminantes base a escala local, regional o nacional (ver sección Mitigación). Según el personal experto, constituyen el grupo de medidas más eficaces para reducir el impacto de la contaminación atmosférica. Las segundas se centran en el desarrollo y uso de sistemas de predicción precisos para la puesta en marcha de medidas de contingencia en los episodios (limitar la circulación de vehículos, actividad industrial o la quema de biomasa, entre otras)^{167,289,320,339-341} y limitar la exposición de la población (información de la ciudadanía, limitación de la actividad física, políticas de movilidad laboral, etc.). En este sentido, España ha desarrollado mecanismos de predicción (para intrusiones saharianas, composición química de la atmósfera, etc.)^{249,342-346} y cuenta con un plan marco de acción a corto plazo²³⁸. Además, el reciente Real Decreto 34/2023 ofrece un marco común de umbrales y actuaciones para controlar el impacto de los episodios de alta contaminación³⁴⁰.

Aunque el principal desafío se centra en las grandes ciudades, es importante avanzar hacia una visión holística y atender a la coordinación del sistema de gobernanza para facilitar su gestión^{24,26,347}. Esto incluye los diferentes niveles de la administración (por ejemplo, el etiquetado nacional de los vehículos permite su regulación en áreas de bajas emisiones a nivel municipal) y también la interconexión y cooperación de todos los actores y sectores involucrados²³. Por otra parte, el borrador de la nueva directiva europea plantea mejorar el acceso a la justicia y la compensación del daño causado sobre la salud de las personas derivados de la mala calidad del aire^{7,256}, lo que enfatiza la importancia del sistema de gobernanza y la responsabilidad de una mala calidad del aire.

Mitigación: estrategias para la mejora de la calidad del aire

Las mejores prácticas para la mejora de la calidad están condicionadas a un adecuado diagnóstico sobre las causas del problema a tratar y así centrarse en los principales sectores responsables de las emisiones contaminantes.

La mitigación puede centrarse en actuaciones y objetivos concretos para cada sector contaminante. Su aplicación puede ser supranacional, nacional, regional o municipal, y puede responder a la aplicación de una o varias medias combinadas en función de objetivos a corto, medio y largo plazo.

Existe abundante información sobre estrategias y mejores prácticas^{224,287,311,348-350}. Sin embargo, estas están condicionadas a un adecuado diagnóstico sobre las causas del problema a solventar: contaminantes objetivo, fuentes locales, regionales o nacionales y factores clave a tener en cuenta^{349,351}. Además, conviene evaluar su eficacia e impacto³⁵¹ no sólo respecto

a las emisiones, también atendiendo a factores socioeconómicos, sobre la salud, su coste-efectividad o simplicidad, entre otros^{123,224,252,254,287,287,349,351}. Aunque evaluar la eficacia de las medidas constituye un reto (por motivos técnicos, de tiempo y recursos, etc.), es crucial tanto para diseñar las políticas públicas como para impulsar y facilitar su aceptación^{69,351,352}.

En función del contaminante objetivo, las actuaciones pueden agruparse²⁴ en:

- **Óxidos de nitrógeno:** las estrategias se centran en el tráfico rodado y la movilidad^{37,353,354}. Otro sector de interés que se puede destacar es el residencial, institucional y comercial (combustiones no industriales) y la industria (combustiones industriales).
- **Partículas:** requieren enfoques más transversales ya que intervienen diversas fuentes y procesos secundarios³⁵⁵. Las estrategias se centran principalmente en el sector residencial, institucional y comercial, en el industrial, el agropecuario y el tráfico rodado (tanto las asociadas al proceso de combustión como las que no provienen del tubo de escape)^{24,37}.
- **Ozono:** su mitigación es aún un reto científico y político complejo, dado el gran número de factores que intervienen^{81,356}. La Administración General del Estado junto a las CCAA y la comunidad científica trabajan en base a la evidencia científica^{110,357,358} más relevante para el desarrollo de un plan para la gestión del ozono⁴⁵. Aunque una parte del personal experto ha señalado la necesidad de endurecer el marco legislativo para acelerar las acciones sobre este contaminante, es una cuestión sobre la que no existe un consenso claro¹³⁷. En este sentido, algunos de ellos proponen transformar los valores objetivo para el ozono en valores límite de obligado cumplimiento, algo que ocurre en algunos países como EE.UU.¹³⁷ y reflejan como posibilidad las enmiendas presentadas por el Parlamento Europeo para la nueva Directiva de Calidad del Aire²⁰⁹.

Además de los sectores mencionados, existen otros sectores cuya intervención puede reportar beneficios en la mitigación de estos contaminantes, así como medidas que no se agrupan claramente en un sector. Entre los primeros está la actividad portuaria (destaca el manejo de mercancías o la congregación de cruceros en las ciudades)^{45,197,359,360}, el transporte aéreo³⁶¹ y marítimo^{45,362,363}, la construcción³¹¹ o la gestión de residuos. Recientemente, se ha destacado la fuerte relevancia del transporte marítimo en las emisiones de ozono⁴⁵. Entre las segundas, destaca la limpieza de las calles^{311,311,364} o la aplicación de supresores químicos de polvo³¹¹ para la reducción de partículas o el uso de productos catalíticos (pinturas de exterior, materiales y otros) en el caso del dióxido de nitrógeno^{365,366}. Los estudios indican resultados desiguales en función de la forma de aplicación, algo que conviene considerar antes de su posible implantación.

Tráfico rodado y movilidad

Existen múltiples estrategias para alcanzar el objetivo general de reducir el número de vehículos y el nivel de emisiones de la flota activa en las ciudades, donde se concentran los problemas relacionados con el dióxido de nitrógeno^{352,367-369}. En España, se encuentra en trámite un Proyecto de Ley sobre Movilidad Sostenible³⁷⁰.

Cambio modal

Consolidar el transporte público como una alternativa preferible para la ciudadanía en cuanto a precio, comodidad, eficacia, etc., posibilita y mejora la aceptación del resto de intervenciones sobre la movilidad^{81,351,369,371,372}. También se puede actuar sobre las emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles por parte del transporte público (especialmente autobuses: electrificación, hidrógeno, gas y otros)^{373,374}. El transporte activo, como caminar o desplazarse en bicicleta, repercute positivamente en la calidad del aire y en la salud de las personas^{167,375,376}. Puede favorecerse mediante el aumento de la red ciclista/peatonal^{377,378}, el acceso compartido a bicicletas^{377,379} y otros vehículos³⁸⁰ y la revisión de los factores que condicionan su uso (seguridad, distancias, edad, etc.)³⁸¹ y la planificación urbana (ver sección "Urbanismo"). Una mejor comprensión de la movilidad ciudadana apoyada en el uso de datos puede ayudar a diseñar estrategias y alternativas de movilidad que se ajusten a las preferencias y necesidades ciudadanas³⁸²⁻³⁸⁵. En este sentido, se avanza en la modelización de

Los objetivos generales de las actuaciones para la mejora de la calidad del aire relacionadas con el tráfico rodado son la reducción del número de vehículos y de las emisiones de los que sigan circulando.

El transporte público y el transporte activo son las opciones preferidas al vehículo privado y conllevan cobeneficios en diversas áreas.

los datos sobre preferencias en el transporte o patrones de movilidad ciudadana etc. mediante herramientas como la inteligencia artificial³⁸⁶ y el uso de **gemelos digitales**, entre otros³⁸⁷⁻³⁸⁹.

Zonas restringidas para el acceso de los vehículos

Limitar el acceso de vehículos en determinadas zonas de las ciudades puede mejorar la calidad del aire, reducir el tráfico rodado y favorecer la renovación del parque de vehículos.

La creación de zonas de acceso regulado es una de las medidas más utilizadas en Europa para reducir el número de vehículos o, técnicamente, los kilómetros totales recorridos^{287,311,390}. Estas limitan o regulan el acceso, circulación o estacionamiento de vehículos mediante mecanismos como tasas o peajes y en base a diversos criterios de alcance que determinan el tipo de vehículos que pueden acceder, la extensión o patrones de funcionamiento horario, condicionado al volumen de tráfico, prohibición total, etc.³⁹¹. La efectividad en la reducción de los niveles y la exposición a la contaminación, sobre todo por dióxido de nitrógeno, pero también partículas, puede variar fuertemente en función de estos criterios, por lo que es esencial una adecuada planificación^{287,369,392-395}. A pesar de ello, son abundantes los ejemplos con resultados positivos^{287,311,396-399}, también en España^{400,401}. A su vez, dichas estrategias promueven una renovación en la flota de vehículos por otros menos contaminantes y el cambio modal del transporte³¹¹, con beneficios más allá de la zona en la que se aplica la restricción. La comunidad experta indica algunas dificultades para la aceptación social de las zonas de bajas emisiones^{287,402}, y destaca la importancia de comunicar adecuadamente las medidas y actuar sobre los determinantes que modulan su aceptación^{310,403,404}. Sin embargo, los datos no sugieren que esta sea mala de forma generalizada^{405,406}.

La aplicación de **peajes urbanos y tasas por congestión** es un mecanismo común en Europa⁴⁰⁷ pero que no se aplica en España, siendo los esquemas más reconocidos los de Londres⁴⁰⁸ y Estocolmo^{369,409}, aunque existen otros⁴⁰⁷. En España, se aplican **zonas de bajas emisiones**. Su reciente marco legal supone que 149 ciudades españolas implementen este mecanismo en 2023⁴¹⁰. Existen guías para su desarrollo e implantación y pautas orientadas a evitar posibles efectos negativos, incluyendo problemas de desigualdad derivados de los criterios de acceso^{87,390,411}.

Otras medidas que actúan sobre la circulación de los vehículos son las limitaciones ante episodios de alta contaminación^{266,373}, el control de velocidad (con efectos positivos y negativos según el contaminante y el estado del tráfico)^{264,341,374}, las políticas de movilidad laboral³² o el teletrabajo (con pros y contras)^{275,375,376}, la movilidad compartida³² y el aumento de la ocupación (como *car-pooling*, *car-sharing* o BUS-VAO), entre otras^{286,339,377}.

Alternativas tecnológicas para reducir emisiones

Las medidas tecnológicas en el tráfico rodado (vehículo eléctrico, de bajas emisiones, otras) pueden reducir las emisiones de algunos contaminantes (principalmente óxidos de nitrógeno) en el medio largo plazo.

La comunidad experta destaca que, para la reducción de emisiones derivadas del uso de combustibles, el objetivo es reducir el uso de los combustibles fósiles. Para ello, se proponen alternativas como vehículos eléctricos, híbridos o de hidrógeno, el uso de **combustibles sintéticos**, especialmente biocombustibles, u otras como el endurecimiento de la regulación sectorial^{37,254,367,412}. La Comisión Europea ha fijado ya una propuesta de regulación Euro 7⁴¹³ para reducir las emisiones⁴¹⁴ y sustituir la actual Euro 6⁴¹⁵.

El uso del coche eléctrico puede contribuir a reducir significativamente las emisiones locales de dióxido de nitrógeno⁴¹⁶. Sin embargo, es necesario hacer un análisis de emisiones y otros factores de la cadena de valor del coche eléctrico como uso de materiales críticos, producción eléctrica, residuos o reciclado de baterías, para evitar otros problemas ambientales adicionales deslocalizados en zonas distintas a las de su uso. Además, de forma local, plantea distintos retos respecto al aumento de emisiones de partículas no generadas a través del tubo de escape (coches más pesados que aumentan emisiones por resuspensión, desgaste y abrasión -frenos, ruedas, asfalto-)^{287,417,418}.

· **Gemelos digitales:** Los gemelos digitales o "digital twins" son un modelo virtual que refleja con exactitud un objeto físico, un proceso o un sistema. Se utilizan para realizar simulaciones y observar el comportamiento del producto o sistema objeto de estudio, para después adaptar las soluciones o alteraciones planteadas en la realidad.

· **Peajes urbanos y tasas por congestión:** sistemas que permiten el acceso de vehículos en función del pago de una tasa que varía en base a criterios como el horario, el nivel de congestión en el área, el tipo de vehículo y sus emisiones etc.

· **Zonas de bajas emisiones:** zonas donde se prohíbe la circulación de vehículos en función de su nivel de emisiones atendiendo a excepciones con causas justificadas.

· **Combustibles sintéticos:** que no procedan de fuentes de carbono de origen fósil. Son, por ejemplo, metanol, metano, amoníaco, biocombustibles (se producen a partir de residuos orgánicos y biomasa) y otros hidrocarburos líquidos o el hidrógeno verde.

En España, la penetración del coche eléctrico es baja y aún se requiere de infraestructura urbana para la carga³⁷, por lo que su pleno impacto no se espera en el corto plazo. Los expertos señalan la conveniencia de implementar incentivos para mejorar las cifras, como en el modelo noruego⁴¹⁹. A pesar del potencial de los coches basado en el uso de hidrógeno para reducir emisiones contaminantes, aún requieren de avances científico-técnicos, del sector energético y del regulatorio, por lo que se consideran una opción aún a largo plazo⁴²⁰⁻⁴²².

La renovación de la flota activa también incluye el uso de nuevos vehículos basados en combustibles fósiles menos contaminantes³⁶⁸ o el uso del reacondicionamiento (*retrofitting*)³⁶⁷. Conviene que se centre en los vehículos con mayores emisiones, bien por su tecnología o mayor número de kilómetros recorridos. Destacan, en este sentido, los vehículos diésel (sobre todo, anteriores a la norma Euro 6)^{423,424} y la actuación sobre la flota de vehículos públicos, el sector primario (altamente “dieselizado”) y el transporte de mercancías urbanas^{311,369}. Por otro lado, no existe un consenso claro sobre el potencial del uso de combustibles sintéticos y **biocombustibles** ya que, aunque positivo desde el punto de vista del cambio climático, desde la calidad del aire presentan limitaciones, e incluso, algunos efectos adversos^{254,425-427,427}.

Estudios recientes en España y otros lugares recalcan la importancia de combinar las distintas aproximaciones señaladas²⁵⁴ y distintos tipos de vehículos⁴²⁸ en función de las características locales (entornos rurales, urbanos, etc.), para minimizar posibles efectos no deseados asociados a cada alternativa.

Reparto de mercancías bajo en emisiones

El reparto actual de mercancías involucra un bajo porcentaje de vehículos, pero muchos kilómetros recorridos, por lo que es responsable de una elevada fracción de las emisiones del tráfico rodado, alrededor del 15-30% del dióxido de nitrógeno o las partículas en una ciudad³⁶⁹. La comunidad experta destaca la incorporación de criterios ambientales sobre los vehículos de reparto y actuar sobre la logística y eficiencia de la distribución urbana de mercancías (horarios, almacenaje y plataformas centralizadas fijas o móviles de distribución, entre otros). Estas acciones pueden reducir las emisiones significativamente y evitar picos de alta contaminación^{369,429,430}.

Urbanismo: ciudades sostenibles y más saludables

Se centran en enfoques holísticos que persiguen mejorar la salud de las personas en el medio urbano^{18,431,432}. Desde la perspectiva de la calidad del aire el objetivo es conseguir una reorganización urbana que permita, entre otros beneficios, separar a la ciudadanía del tráfico rodado intenso (sobre todo en áreas sensibles que incluyen centros médicos, residencias o colegios), reducirlo, y posibilitar el acceso a servicios básicos sin la necesidad de usar transporte rodado. Las actuaciones principales se centran en el uso de esquemas de circulación-peatonalización^{166,433,434} y la implantación de infraestructuras verdes y azules, asociadas a la presencia de vegetación y agua, entre otras⁴³⁵⁻⁴³⁸. Además de poder favorecer la calidad del aire y reducir sus impactos, los cobeneficios de estas aproximaciones incluyen la mitigación del ruido, la promoción de la actividad física y la salud personal o, incluso, combatir el sobrecalentamiento de los espacios urbanos^{431,437-439}. Aunque el balance sobre la salud es positivo, el personal experto también destaca que los espacios verdes afectan a la respuesta alérgica entre la población⁴³⁷ y que una mala planificación de algunas intervenciones pueden generar problemas locales (efectos pantalla o bóveda derivado del arbolado de calles entre otras, desplazamiento del tráfico a nuevas zonas, etc.)^{440,441}.

A pesar de que su aplicación no está carente de desafíos, existe ejemplos en el contexto europeo, como los vecindarios de bajas emisiones en Londres³⁹⁸, barrios sin coches en ciudades alemanas⁴³² o la ciudad de 15-minutos en París⁴⁴². En el ámbito nacional, destacan las supermanzanas o *superilles* en Barcelona^{401,443} o “ciudades que caminan” como el metrominuto de Pontevedra⁴⁴⁴, entre otras⁴⁴⁵.

· **Retrofitting**: aplicación de tecnologías novedosas en vehículos antiguos que carecen de ellas en su fabricación para reducir sus emisiones contaminantes.
· **Biocombustibles (biodiesel, bioetanol etc.)**: se producen a partir de residuos orgánicos y biomasa y aún en desarrollo, a partir de métodos microbiológicos. En el mercado europeo la mayoría provienen de mezclar biodiesel en el Diesel y bioetanol en la gasolina.

La eficiencia energética y el uso de sistemas calefactores y combustibles adecuados en el sector residencial, comercial e institucional puede reducir significativamente las emisiones de partículas y otros contaminantes.

A pesar de una mejora generalizada en las emisiones del sector persisten algunos problemas de alcance regional y aún hay margen de mejora.

Las acciones de mitigación se centran en las emisiones de amoníaco asociadas a los purines y las de partículas y otros contaminantes asociados a la quema de los residuos agrícolas.

Sector doméstico y residencial

El objetivo general es mejorar la eficiencia energética de los edificios⁴⁴⁶ y minimizar las emisiones derivadas de procesos de combustión de sistemas calefactores mediante su optimización, reducir el uso de combustibles fósiles y aumentar la penetración de renovables y electrificación, entre otras medidas^{37,311}. Incluye los edificios públicos y el parque de viviendas en uso o en construcción (normativas, ayudas, incentivos fiscales, información, etc.)³⁵¹.

En este sector, preocupa la quema de biomasa (chimeneas, estufas, calefactores de pellet o similares)⁴⁴⁷⁻⁴⁵⁰ debido a la emisión de partículas y otros contaminantes asociados, como hidrocarburos aromáticos policíclicos (**Cuadro 1**)^{197,451,452}. Aun siendo una actividad menos común en España que en otros países europeos, aumenta en contextos urbanos y predomina en el contexto rural y en momentos de coste elevado de los combustibles fósiles^{453,454}, y sobre todo, en el periodo invernal⁴⁴⁸. Algunos estudios en zonas no urbanas muestran condiciones de calidad del aire cuya toxicidad es comparable a la encontrada en grandes ciudades debido a la quema de biomasa. Por ello, se destaca la importancia de evaluar esta problemática en detalle y a escala nacional^{448,455,456}. Experiencias como la noruega⁴⁵⁷ o la monitorización de levoglucosano en aire⁴⁵⁴ pueden ser de ayuda en este sentido (**Cuadro 3**). En la actualidad, las medidas de mitigación se centran en el uso de combustibles y sistemas calefactores certificados, sistemas comunitarios en vez de individuales y una cuidadosa selección de los usos (no es lo mismo quemar biomasa en algunos sectores industriales que de forma extensiva en todas las viviendas)^{197,311}. Países como Reino Unido y Noruega o regiones como Lombardía han establecido estrategias para la restricción de estas actividades y el control de los sistemas y combustibles usados en el contexto doméstico con distintos resultados y, en algunos casos, con dificultades para su aceptación social^{197,447,458,459}.

Industria

Las emisiones del tejido industrial asociadas a la mala calidad del aire experimentaron un marcado descenso (2000-2012)⁴⁶⁰ gracias a las políticas estratégicas del sector⁴⁶¹. Estas conllevan la aplicación de las mejores técnicas y prácticas disponibles al respecto⁴⁶²⁻⁴⁷³ y el cambio de combustibles^{29,87,251,460,462}. Aun así, la comunidad experta señala problemas de alcance regional que persisten a nivel nacional y requieren atención⁴⁷⁴⁻⁴⁷⁶. También destaca, entre otros aspectos, el margen de mejora en las emisiones de algunos contaminantes (como precursores de ozono o partículas)^{45,462}, ahondar en la caracterización del riesgo que implica para la ciudadanía para favorecer su regulación (composición y distribución temporal de las emisiones)^{475,477} o el refuerzo del control en torno al cumplimiento de los estándares de emisión^{462,476}. Existen experiencias de mitigación eficaces en el contexto nacional que demuestran la importancia de la coordinación de todos los actores implicados^{478,479}.

Sector agropecuario

Las herramientas para reducir las emisiones de amoníaco, precursor de la partículas finas, incluyen principalmente actuaciones sobre las prácticas agrícolas y sobre la generación y gestión de los purines y el estiércol^{37,480,481}. Las primeras se centran en los tipos de abono y fertilización y sus técnicas de aplicación^{37,482}. Las segundas incluyen un amplio grupo de mejores prácticas que van desde el uso de piensos bajos en proteínas para el ganado y avances tecnológicos en su alojamiento y en el almacenamiento y gestión del estiércol y purines^{37,355,483-485}, hasta medidas orientadas a los hábitos de consumo de la población, como la disminución del consumo de carne^{355,486-488}. La reducción del amoníaco es, además de una forma de minimizar los riesgos ecológicos, una forma rentable económicamente de reducir la presencia de partículas finas⁵⁶.

Por otra parte, la evidencia científica señala los efectos negativos que la **quema de residuos agrícolas** tiene sobre la calidad del aire, la salud, la propia actividad agrícola (productividad), y el clima^{197,448,455,489-499}. Estos mismos efectos aplican también a los incendios forestales^{491,495,499-501}.

· **Quema de residuos agrícolas:** cualquier quema voluntaria en el sector agroforestal incluyendo quema de rastrojo y pastizales, quema de restos de poda (olivo, frutales etc.) u otros restos o elementos no deseados en cultivos forestales y el uso del fuego para despejar tierras en barbecho, así como los incendios inintencionados derivados de estas prácticas.

Además de la emisión de partículas especialmente tóxicas (alto contenido en carbono orgánico, elemental y/o carbono negro, ver **Cuadro 3**), esta actividad también genera precursores del ozono, favoreciendo picos en su formación⁵⁰². El marco legislativo varía entre los países europeos, desde la prohibición total a permisos por época del año, tipo de explotación, etc.⁵⁰³. En España, pueden quemarse residuos vegetales previa autorización autonómica en determinados supuestos^{504,505}. Cabe destacar el gran volumen del sector en España: las estimaciones (2020) indican la quema a cielo abierto de más de 6 millones de toneladas de biomasa seca de origen agrícola⁵⁰⁶.

La comunidad científica señala la prohibición total para evitar los impactos negativos de esta actividad^{197,494}. Existen prácticas alternativas a la quema en función de las características locales (cultivo, clima, aspectos socioeconómicos, etc.) relacionadas con la agricultura de la conservación, labranza mínima, usos alternativos de los residuos (alimento para ganado, bioenergía para el sector industrial y/o residencial, compostaje, etc.) y otras opciones⁴⁹⁴. La asimilación de estas alternativas por parte del sector requiere, en este orden, de⁴⁹⁴: una caracterización precisa del estado de la quema agrícola (puede apoyarse en tecnología satelital^{494,507,508}), capacitación y formación del sector y, finalmente, del desarrollo de regulaciones y apoyo financiero (subsidios, incentivos, etc.) para garantizar la rentabilidad.

Cambio social: información, percepción y comportamiento

Existen estrategias de comunicación efectivas que puede favorecer la autoprotección y reducción de emisiones por parte de la ciudadanía, así como el compromiso y colaboración de la población en el desarrollo y concreción de las políticas públicas.

Las ciencias sociales, especialmente las de la información y el comportamiento, intervienen en la gestión de la calidad del aire^{41,310,509-511}. Aunque hay disponible amplia información pública sobre el estado de la calidad del aire⁵¹¹ (niveles históricos o en tiempo real, pronóstico, índices que persiguen reducir la exposición personal)^{512,513}, la mayoría de la población se considera mal informada¹³. De hecho, el borrador de la directiva europea de calidad del aire contempla la mejora de este aspecto^{7,256}.

Informar sobre la calidad del aire y sobre los riesgos que la contaminación supone sobre la salud tiene el potencial de desencadenar en la ciudadanía una actitud y/o comportamiento alineado con esta problemática. Esta puede actuar para su autoprotección, como agente mitigante reduciendo emisiones de sus actividades o a través de su actitud ante las propias políticas públicas, entre otras formas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayor disponibilidad de información sobre el problema no motiva, necesariamente, que la población actúe de esta manera. Depende de un amplio conjunto de factores (receptor –personales–, canal, emisor o características del mensaje) que dificultan la obtención de patrones generalizados sobre el efecto de la comunicación al público^{310,347,511,514-517}.

Los estudios sobre actitud ciudadana pueden contribuir a la orientación de las políticas públicas y a delimitar el conjunto de factores que modula la aceptación y respuesta ciudadana^{310,402,403,403-405,516,518}. Además, existe evidencia científica sobre las intervenciones, metodologías y estrategias de comunicación que favorecen el cambio de comportamiento, si bien es un campo en el que aún se requieren importantes avances^{514,519-521}. Entre el amplio conjunto de recomendaciones, pueden destacarse: acompañar la información sobre calidad del aire de mensajes positivos que motiven a la acción, aumentar la autoeficacia o control percibido de las personas ante este problema y emplear fuentes científicas e institucionales prestigiosas y de confianza para la población³¹⁰.

Los mensajes positivos pueden centrarse en los beneficios de las acciones personales en términos de salud y mitigación, y no solo en la alerta o el riesgo³¹⁰. La autoeficacia, puede mejorarse al proporcionar información detallada y personalizada sobre cómo llevar a cabo acciones efectivas y concretas o modificar el entorno para facilitar las acciones personales^{310,405}. Además, a nivel europeo y español, distintas iniciativas de ciencia ciudadana se centran en desarrollar y redefinir el papel de la población ante la calidad del aire y las políticas públicas asociadas^{14,280,522-526} mediante su implicación en la vigilancia (sensores de bajo coste, **Cuadro 3**) o la creación de laboratorios ciudadanos^{527,528} entre otras actividades. Estas experiencias pueden promover la acción colectiva, la comprensión y la sensibilización sobre el tema, aunque tampoco garantizan un cambio de comportamiento social^{263,529,530}.

La ciudadanía es una pieza esencial que puede favorecer o limitar la implantación de medidas o planes destinados a mitigar el problema de la calidad del aire¹⁴. Por tanto, para la mejora y el desarrollo de políticas públicas en torno a la calidad del aire es necesario conseguir una comunicación y conexión eficaz, comprometida y basada en la confianza entre la ciudadanía y las administraciones^{26,310}. Aun con los desafíos que conlleva, este informe destaca la importancia de situar a la población en el centro de la gestión de la calidad del aire, involucrarla en el desarrollo de las estrategias de mitigación y ampliar el conocimiento sobre los mecanismos que lo hacen posible.

Ideas fuerza

- La contaminación del aire causa problemas de salud pública, medio ambientales, desigualdad y constriñe la economía en todo el mundo. En España, sólo tres de los múltiples contaminantes que definen la calidad del aire, el material particulado fino, el dióxido de nitrógeno y el ozono, causan unas 17.000, 4.800 y 2.400 muertes prematuras al año. A nivel medioambiental, la mala calidad del aire provoca pérdida de biodiversidad y baja productividad agrícola. Su impacto económico se estima entre 30.000 y 50.000 millones de euros para 2030.
- La calidad del aire ha mejorado en Europa y España gracias a las políticas públicas aplicadas. Sin embargo, la comunidad experta señala que el avance es insuficiente:
 - ◊ La presencia de partículas, seguidas por el dióxido de nitrógeno y en último lugar el ozono son los responsables de los principales efectos negativos sobre la salud.
 - ◊ Los altos niveles de ozono suponen un desafío clave en el contexto español.
 - ◊ Buena parte del territorio español y de la Unión Europea supera ampliamente los niveles de contaminación del aire recomendados por la Organización Mundial de la Salud, más estrictos que la actual normativa (que también se incumple en algunos parámetros).
- España cuenta con una red de vigilancia de calidad del aire, que cumple con los requisitos de las Directivas Comunitarias, y es adecuada a los estándares internacionales. Igualmente, existen avances científicos y mejoras técnicas que pueden ser de interés para reforzar las tareas de vigilancia y protección.
- Las intervenciones para la mejora de la calidad del aire giran en torno a diversos sectores responsables de las emisiones contaminantes:
 - ◊ Destacan las intervenciones para reducir las emisiones derivadas del tráfico, del sector residencial, comercial e institucional, del industrial y el agrícola.
 - ◊ Existen medidas tecnológicas que pueden ayudar a mejorar el problema en todos los sectores, pero son insuficientes por sí solas.
 - ◊ Son necesarias intervenciones sociales orientadas a rediseñar el espacio urbano y el papel ciudadano.
 - ◊ Una comunicación efectiva entre los distintos actores puede favorecer el compromiso y colaboración de la ciudadanía en el desarrollo y concreción de las políticas públicas.
- La calidad del aire y la cuestión climática están fuertemente interrelacionadas, por lo que requieren de políticas integradas. La investigación es esencial para desarrollar medidas de mitigación que generen cobeneficios en ambas áreas y en el resto (salud, justicia social o economía).
- La revisión de la actual directiva europea se orienta a aumentar la protección de la salud pública, reforzar la vigilancia, mejorar el acceso a la justicia para promover el derecho a un aire limpio y multiplicar el potencial de los mecanismos de información ciudadana.

Referencias:

1. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Impacto sobre la salud de la calidad del aire en España. Respuesta y desarrollo de la Medida Info 5 recogida en el Plan Nacional del Aire 2017-2019 (Plan Aire II). https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/PLAN_AIRE_Medida_5_19_12_27.pdf (2019).
2. European Environment Agency. Air quality in Europe 2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>.
3. European Parliament. Air and noise pollution. Fact Sheets on the European Union. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/75/air-and-noise-pollution> (2022).
4. European Environment Agency. Europe's air quality status 2023. <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2023> (2023).
5. Comisión Europea. INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES SEGUNDA PERSPECTIVA SOBRE EL PAQUETE «AIRE LIMPIO». (2021).
6. OECD & European Union. Health at a Glance: Europe 2020: State of Health in the EU Cycle. (OECD, 2020). ISBN: 978-92-64-36564-3.
7. Comisión Europea. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. 2022/O347 (COD) (2022).
8. Lelieveld, J., Haines, A., Burnett, R., Tonne, C., Klingmüller, K., Münzel, T. & Pozzer, A. Air pollution deaths attributable to fossil fuels: observational and modelling study. *BMJ* 383, e077784 (2023) [www.doi.org/10.1136/bmj-2023-077784](https://doi.org/10.1136/bmj-2023-077784).
9. U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Science Assessment (ISA) For Oxides of Nitrogen, Oxides of Sulfur and Particulate Matter Ecological Criteria (Second External Review Draft, Jun 2018). EPA/600/R-18/O97 <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=340671> (2018).
10. European Environment Agency. Impacts of air pollution on ecosystems. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/impacts-of-air-pollution-on-ecosystems> (2022).
11. United Nations. Economic and Social Council. Economic Commission for Europe. Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Cost of inaction. ECE/EB.AIR/2022/7 https://www.oecd-ilibrary.org/environment/the-economic-consequences-of-outdoor-air-pollution_9789264257474-en (2022) www.doi.org/10.1787/9789264257474-en.
12. WHO Regional Office for Europe, OECD. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. (2015).
13. Comisión Europea. Special Eurobarometer 524. Attitudes of Europeans towards Air Quality. DOI: 10.2779/89669 <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2660> (2022).
14. European Environment Agency. European Environment Information and Observation Network (EIONET). Public awareness and efforts to improve air quality in Europe. ETC/ATNI 2020/2 <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-2-2020-public-awareness-and-efforts-to-improve-air-quality-in-europe> (2020).
15. Laurent, É. Air (ine)quality in the European Union. *Current Environmental Health Reports* 9, 123-129 (2022) [www.doi.org/10.1007/s40572-022-00348-6](https://doi.org/10.1007/s40572-022-00348-6).
16. European Environment Agency. Unequal exposure and unequal impacts. No 22/2018 <https://www.eea.europa.eu/publications/unequal-exposure-and-unequal-impacts> (2019).
17. European Environment Agency. Air pollution and children's health. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-pollution-and-childrens-health> (2023).
18. A conversation on the impacts and mitigation of air pollution. *Nature Communications* 12, 5822 (2021) [www.doi.org/10.1038/s41467-021-25518-2](https://doi.org/10.1038/s41467-021-25518-2).
19. United Nations. General Assembly. Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural rights, including the right to development. (2019) www.doi.org/10.1163/2210-7975_HRD-9970-2016149.
20. Taddei, U. The right to clean air in the European Union. *EU Environmental Governance* (Routledge, 2020). ISBN: 978-0-367-81666-7.
21. Misonne, D. The emergence of a right to clean air: Transforming European Union law through litigation and citizen science. *Review of European, Comparative & International Environmental Law* 30, 34-45 (2021) [www.doi.org/10.1111/reel.12336](https://doi.org/10.1111/reel.12336).
22. Huck, W., Maaß, J., Sood, S., Benmaghnia, T., Schulte, A., Heß, S. & Walter, M. The Right to Breathe Clean Air and Access to Justice—Legal State of Play in International, European and National Law. *European and National Law* (2021).
23. Viana, M., de Leeuw, F., Bartonova, A., Castell, N., Ozturk, E. & González Ortiz, A. Air quality mitigation in European cities: Status and challenges ahead. *Environment International* 143, 105907 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2020.105907](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105907).
24. European Environment Agency. Improving Europe's air quality; measures reported by countries. <https://www.eea.europa.eu/publications/improving-europe-s-air-quality/improving-europe-s-air-quality> (2018).
25. European Environment Agency. Cutting air pollution in Europe would prevent early deaths, improve productivity and curb climate change. <https://www.eea.europa.eu/highlights/cutting-air-pollution-in-europe> (2020).
26. Negev, M., Zea-Reyes, L., Caputo, L., Weinmayr, G., Potter, C. & de Nazelle, A. Barriers and Enablers for Integrating Public Health Cobenefits in Urban Climate Policy. *Annual Review of Public Health* 43, 255-270 (2022) [www.doi.org/10.1146/annurev-pubhealth-052020-010820](https://doi.org/10.1146/annurev-pubhealth-052020-010820).
27. Cortes Generales. Constitución Española. Última actualización 27/09/2011 (1978).
28. Oficina Nacional de Prospectiva y Estrategia del Gobierno de España. España 2050. <http://futuros.gob.es/nuestro-trabajo/espaa-2050> (2021).
29. Querol, X. et al. 2001-2012 trends on air quality in Spain. *Science of The Total Environment* 490, 957-969 (2014) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.074](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.074).
30. Subdirección General de Aire Limpio y Sostenibilidad Industrial del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Evaluación de la calidad del aire en España. Año 2021. (2022).
31. European Environment Agency. Air quality in Europe 2021. Report no. 15/2021 (2021) [www.doi.org/10.2800/549289](https://doi.org/10.2800/549289).
32. European Environment Agency. Air quality in Europe - 2020 report. Report No 9/2020 (2020) [www.doi.org/10.2800/786656](https://doi.org/10.2800/786656).
33. World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. ISBN: 978-92-4-151135-3 <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141> (2016).
34. Health Effects Institute. State of Global Air 2020. Special Report. <https://fundacionio.com/wp-content/uploads/2020/10/soga-2020-report.pdf> (2020).
35. Olivares, I. La calidad del aire en España. Diagnóstico y comparación con otros países. La calidad del aire en las ciudades 31-46 (2018). ISBN: 978-84-09-01905-2.
36. World Health Organization (WHO). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. ISBN 978-92-4-003422-8 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK574594/> (2021).
37. Ministerio para la Transición Ecológica. I Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-el-i-programa-nacional-de-control-de-la-contaminacion-atmosferica> (2019).
38. Ohara, T. Long-Range Transport and Deposition of Air Pollution. *Encyclopedia of Environmental Health* (Second Edition) (ed. Nriagu, J.) 126-130 (Elsevier, 2019). ISBN: 978-0-444-63952-3.
39. Münzel, T., Sørensen, M. & Daiber, A. Transportation noise pollution and cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology* 18, 619-636 (2021) [www.doi.org/10.1038/s41569-021-00532-5](https://doi.org/10.1038/s41569-021-00532-5).
40. Khomenko, S. et al. Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment. *Environment International* 162, (2022) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2022.107160](https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107160).
41. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. BOE-A-2011-1645 (2011).
42. Real Decreto 678/2014, de 1 de agosto, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. vol. BOE-A-2014-8898 68026-68027 (2014).
43. Real Decreto 39/2017, de 27 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. vol. BOE-A-2017-914 6918-6930 (2017).
44. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. OJ L vol. 152 (2008).
45. Subdirección General de Aire Limpio y Sostenibilidad Industrial del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Bases científicas para un plan nacional de ozono (2022). NIPO: 665230255 https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/documentacion-oficial/BCT_Plan_O3.aspx (2023).
46. Kristiansson, E., Coria, J., Gunnarsson, L. & Gustavsson, M. Does the scientific knowledge reflect the chemical diversity of environmental pollution? - A twenty-year perspective. *Environmental Science & Policy* 126, 90-98 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.envsci.2021.09.007](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.09.007).
47. Cousins, I. T., Johansson, J. H., Salter, M. E., Sha, B. & Scheringer, M. Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environmental Science & Technology* 56, 11172-11179 (2022) [www.doi.org/10.1021/acs.est.2c02765](https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765).
48. Diamond, M. L. et al. Exploring the planetary boundary for chemical pollution. *Environment International* 78, 8-15 (2015) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2015.02.001](https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.02.001).
49. World Health Organization (WHO). Household air pollution. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> [23/04/2023].
50. González-Martín, J., Kraakman, N. J. R., Pérez, C., Lebrero, R. & Muñoz, R. A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control. *Chemosphere* 262, 128376 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128376](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128376).
51. Indoor air pollution kills and science needs to step up. *Nature* 614, 196-196 (2023) [www.doi.org/10.1038/d41586-023-00338-0](https://doi.org/10.1038/d41586-023-00338-0).
52. International Organization for Standardization. ISO 7708:1995. Air quality - Particle size fraction definitions for health-related sampling. <https://www.iso.org/standard/14534.html> (2021).
53. PRTR España. Partículas PM10. <https://prtr-es.es/Particulas-PM10.15673.11.2007.html> [23/02/2023].

54. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Informative inventory report. Submission to the secretariat of the Geneva Convention and EMEP Programme. Reporting to the European Commission under Directive (EU) 2016/2284. NIPO: 665230213 (2023).
55. Liang, C.-S., Duan, F.-K., He, K.-B. & Ma, Y.-L. Review on recent progress in observations, source identifications and countermeasures of PM_{2.5}. *Environment International* 86, 150–170 (2016) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.016](https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.016).
56. Gu, B. et al. Abating ammonia is more cost-effective than nitrogen oxides for mitigating PM_{2.5} air pollution. *Science* 374, 758–762 (2021) [www.doi.org/10.1126/science.abf8623](https://doi.org/10.1126/science.abf8623).
57. European Environment Agency. European Union emissions inventory report under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-emissions-inventory-report> (2022).
58. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Compuestos Orgánicos Volátiles. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos_organicos_volatiles.aspx [21/03/2023].
59. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Ozono. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/ozono.aspx> [10/02/2023].
60. Querol, X. et al. Lessons from the COVID-19 air pollution decrease in Spain: Now what? *Science of The Total Environment* 779, 146380 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146380](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146380).
61. Brines, M. et al. Source apportionment of urban PM₁₀ in Barcelona during SAPUSS using organic and inorganic components. *Environmental Science and Pollution Research* 26, 32114–32127 (2019) [www.doi.org/10.1007/s11356-019-06199-3](https://doi.org/10.1007/s11356-019-06199-3).
62. Amato, F. et al. AIRUSE-LIFE+: a harmonized PM speciation and source apportionment in five southern European cities. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 3289–3309 (2016) [www.doi.org/10.5194/acp-16-3289-2016](https://doi.org/10.5194/acp-16-3289-2016).
63. World Health Organization. Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air pollution. REVIHAAP Project. Technical report. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf.
64. Emissions from road traffic and domestic heating behind breaches of EU air quality standards across Europe – European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/highlights/emissions-from-road-traffic-and> [19/05/2023].
65. Barnes, J. H., Chatterton, T. J. & Longhurst, J. W. S. Emissions vs exposure: Increasing injustice from road traffic-related air pollution in the United Kingdom. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 73, 56–66 (2019) [www.doi.org/10.1016/j.trd.2019.05.012](https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.05.012).
66. Ramacher, M. O. P., Matthias, V., Aulinger, A., Quante, M., Bieser, J. & Karl, M. Contributions of traffic and shipping emissions to city-scale NO_x and PM_{2.5} exposure in Hamburg. *Atmospheric Environment* 237, 117674 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117674](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117674).
67. Barlow, P. Regulation 28: report to prevent future deaths. <https://www.judiciary.uk/wp-content/uploads/2021/04/Ella-Kissi-Debrah-2021-0113-1.pdf> (2021).
68. Medicine, T. L. R. Air pollution—time to address the silent killer. *The Lancet Respiratory Medicine* 9, 1203 (2021) [www.doi.org/10.1016/S2213-2600\(21\)00448-3](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(21)00448-3).
69. Boogaard, H., Walker, K. & Cohen, A. J. Air pollution: the emergence of a major global health risk factor. *International Health* 11, 417–421 (2019) [www.doi.org/10.1093/inthealth/ihz078](https://doi.org/10.1093/inthealth/ihz078).
70. Schraufnagel, D. E. et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. *Chest* 155, 417–426 (2019) [www.doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041](https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041).
71. Ministerio de Sanidad y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente. <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pesma/home.htm> (2021).
72. Papadogeorgou, G., Kioumourtzoglou, M.-A., Braun, D. & Zanobetti, A. Low Levels of Air Pollution and Health: Effect Estimates, Methodological Challenges, and Future Directions. *Current Environmental Health Reports* 6, 105–115 (2019) [www.doi.org/10.1007/s40572-019-00235-7](https://doi.org/10.1007/s40572-019-00235-7).
73. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (December 2019). EPA/600/R-19/188 <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534> (2019).
74. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Integrated Science Assessment (ISA) for Ozone and Related Photochemical Oxidants (April 2020). EPA/600/R-20/012 <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=348522> (2020).
75. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (January 2016). EPA/600/R-15/068 <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=310879>.
76. Straif, K., Cohen, A. & Samet, J. Air Pollution and Cancer. IARC scientific publication NO.161. World Health Organization. ISBN: 978-92-832-2166-1 <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Air-Pollution-And-Cancer-2013>.
77. Turner, M. C. et al. Outdoor air pollution and cancer: An overview of the current evidence and public health recommendations. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 70, 460–479 (2020) [www.doi.org/10.3322/caac.21632](https://doi.org/10.3322/caac.21632).
78. Hill, W. et al. Lung adenocarcinoma promotion by air pollutants. *Nature* 616, 159–167 (2023) [www.doi.org/10.1038/s41586-023-05874-3](https://doi.org/10.1038/s41586-023-05874-3).
79. Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C). Informe C: Avances en el tratamiento del cáncer. (2022) [www.doi.org/10.57952/anta-er88](https://doi.org/10.57952/anta-er88).
80. Liu, C. et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *New England Journal of Medicine* 381, 705–715 (2019) [www.doi.org/10.1056/NEJMoal817364](https://doi.org/10.1056/NEJMoal817364).
81. Bouza, E. et al. Air pollution and health prevention: A document of reflection. *Revista Española de Quimioterapia* 35, 307–332 (2022) [www.doi.org/10.37201/req/171.2021](https://doi.org/10.37201/req/171.2021).
82. Boldo, E. Los efectos de la contaminación del aire en la salud humana. La calidad del aire en las ciudades (2018). ISBN: 978-84-09-01905-2.
83. Linares, C., Falcón, I., Ortiz, C. & Díaz, J. An approach estimating the short-term effect of NO₂ on daily mortality in Spanish cities. *Environment International* 116, 18–28 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.002](https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.002).
84. Arroyo, V., Díaz, J., Salvador, P. & Linares, C. Impact of air pollution on low birth weight in Spain: An approach to a National Level Study. *Environmental Research* 171, 69–79 (2019) [www.doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.030](https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.030).
85. Linares, C., Sánchez-Martínez, G. & Díaz, J. Is the Impact of Air Pollution on Mortality from Respiratory or Circulatory Causes Greater in Spain? *Archivos de Bronconeumología* 56, 543–544 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.arbres.2019.11.001](https://doi.org/10.1016/j.arbres.2019.11.001).
86. Ruiz-Páez, R. et al. Short-term effects of air pollution and noise on emergency hospital admissions in Madrid and economic assessment. *Environmental Research* 219, 115147 (2023) [www.doi.org/10.1016/j.envres.2022.115147](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115147).
87. Blake, E. Urban outdoor air quality. UK Parliamentary Office of Science and Technology (PN458) <https://post.parliament.uk/research-briefings/post-pn-0691/> (2023).
88. Goldman, G. T. & Dominici, F. Don't abandon evidence and process on air pollution policy. *Science* 363, 1398–1400 (2019) [www.doi.org/10.1126/science.aaw9460](https://doi.org/10.1126/science.aaw9460).
89. Chen, J. & Hoek, G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 143, 105974 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974).
90. Huangfu, P. & Atkinson, R. Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 144, 105998 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998).
91. Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A. & Ciapponi, A. Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International* 142, 105876 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876).
92. Orellano, P., Reynoso, J. & Quaranta, N. Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 150, 106434 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434](https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434).
93. Zheng, X., Orellano, P., Lin, H., Jiang, M. & Guan, W. Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 150, 106435 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106435](https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106435).
94. Hoffmann, B. et al. WHO Air Quality Guidelines 2021—Aiming for Healthier Air for all: A Joint Statement by Medical, Public Health, Scientific Societies and Patient Representative Organisations. *International Journal of Public Health* 66, (2021) [www.doi.org/10.3389/ijph.2021.1604465](https://doi.org/10.3389/ijph.2021.1604465).
95. González Ortiz, A., Gsella, A., Guerreiro, C., Soares, J. & Horálek, J. ETC/ATNI Report 10/2021: Health risk assessments of air pollution. Estimations of the 2019 HRA, benefit analysis of reaching specific air quality standards and more. Eionet Portal <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-10-2021-health-risk-assessments-of-air-pollution-estimations-of-the-2019-hra-benefit-analysis-of-reaching-specific-air-quality-standards-and-more> [09/05/2023].
96. European Environment Agency. Health impacts of air pollution in Europe, 2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution> (2023).
97. European Environment Agency. Assessing the risks to health from air pollution. <https://www.eea.europa.eu/publications/assessing-the-risks-to-health> (2023).
98. Fox, N. & Love, S. Cognitive decline, dementia and air pollution: A report by the Committee on the Medical Effects of Air Pollutants. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1090376/COMEAP-dementia-report-2022.pdf (2022).
99. Peters, R., Ee, N., Peters, J., Booth, A., Mudway, I. & Anstey, K. J. Air Pollution and Dementia: A Systematic Review. *Journal of Alzheimer's Disease* 70, S145–S163 (2019) [www.doi.org/10.3233/JAD-180631](https://doi.org/10.3233/JAD-180631).
100. Castellani, B. et al. Mitigating the impact of air pollution on dementia and brain health: Setting the policy agenda. *Environmental Research* 215, (2022)

www.doi.org/10.1016/j.envres.2022.114362.

101. Balmain, A. Air pollution's role in the promotion of lung cancer. *Nature* 616, 35–36 (2023)
www.doi.org/10.1038/d41586-023-00929-x.

102. Glencross, D. A., Ho, T.-R., Camiña, N., Hawrylowicz, C. M. & Pfeffer, P. E. Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radical Biology and Medicine* 151, 56–68 (2020)
www.doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179.

103. European Environment Agency. Health impacts of air pollution in Europe, 2022 Table 2.
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution-table2> (2023).

104. Khomenko, S. et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment. *The Lancet Planetary Health* 5, e121–e134 (2021)
[www.doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30272-2](http://www.doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30272-2).

105. Díaz, J. & Linares, C. Impacto en la salud de la contaminación atmosférica química y acústica. Informe sobre Sostenibilidad en España 2019 (2019). ISBN: 978-84-12-02483-8.

106. Monforti-Ferrario, F., Borowiak, A., Putaud, J.-P., Perez, B. P., Cavalli, F. & Manca, G. Air pollutants of emerging concern. JRC Publications Repository
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128188> [19/01/2023]
www.doi.org/10.2760/284694.

107. RI-URBANS project. RI-URBANS
<https://riurbans.eu/results/> [08/05/2023].

108. Schraufnagel, D. E. The health effects of ultrafine particles. *Experimental & Molecular Medicine* 52, 311–317 (2020)
www.doi.org/10.1038/s12276-020-0403-3.

109. Ohlwein, S., Kappeler, R., Kutlar Joss, M., Künzli, N. & Hoffmann, B. Health effects of ultrafine particles: a systematic literature review update of epidemiological evidence. *International Journal of Public Health* 64, 547–559 (2019)
www.doi.org/10.1007/s00038-019-01202-7.

110. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Jornada presentación de resultados de la campaña de medidas de ozono y partículas ultrafinas.
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/cursos-jornadas/Presentaciones-jornadas-O3yPUF.aspx> [22/04/2023].

111. Fuzzi, S. et al. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, 8217–8299 (2015)
www.doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015.

112. Bové, H. et al. Ambient black carbon particles reach the fetal side of human placenta. *Nature Communications* 10, 3866 (2019)
www.doi.org/10.1038/s41467-019-11654-3.

113. Salimbeni, C., Morreale, S. & Pilla, F. Health risk assessment and black carbon: state of art and new perspectives. Air Pollution XXIX meeting 149–159 (2021)
www.doi.org/10.2495/AIR210141.

114. European Environment Agency. Black carbon: Better monitoring needed to assess health and climate change impacts.
<https://www.eea.europa.eu/highlights/black-carbon-better-monitoring-needed> (2023).

115. Zheng, H. et al. A method to dynamically constrain black carbon aerosol sources with online monitored potassium. *npj Climate and Atmospheric Science* 4, 1–8 (2021)
www.doi.org/10.1038/s41612-021-00200-y.

116. Briggs, N. L. & Long, C. M. Critical review of black carbon and elemental carbon source apportionment in Europe and the United States. *Atmospheric Environment* 144, 409–427 (2016)
www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.002.

117. Reche, C., Pérez, N., Alastuey, A., Cots, N., Pérez, E. & Querol, X. 2011–2020 trends of urban and regional ammonia in and around Barcelona, NE Spain. *Chemosphere* 304, (2022)
www.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135347.

118. European Environment Agency. Air pollution in Europe: 2023 reporting status under the National Emission reduction Commitments Directive.
<https://www.eea.europa.eu/publications/national-emission-reduction-commitments-directive-2023>.

119. Staniaszek, Z., Griffiths, P. T., Folberth, G. A., O'Connor, F. M., Abraham, N. L. & Archibald, A. T. The role of future anthropogenic methane emissions in air quality and climate. *npj Climate and Atmospheric Science* 5, 1–8 (2022)
www.doi.org/10.1038/s41612-022-00247-5.

120. European Environment Agency. Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe.
<https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives> (2019).

121. Caplin, A., Ghandehari, M., Lim, C., Glimcher, P. & Thurston, G. Advancing environmental exposure assessment science to benefit society. *Nature Communications* 10, 1236 (2019)
www.doi.org/10.1038/s41467-019-09155-4.

122. O'Leary, K. Air pollution disparities in the USA. *Nature Medicine* (2022)
www.doi.org/10.1038/d41591-022-00029-9.

123. Wang, L. et al. Air Quality Strategies on Public Health and Health Equity in Europe—A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13, 1196 (2016)
www.doi.org/10.3390/ijerph13121196.

124. World Health Organization. Environmental health inequalities in Europe: second assessment report. ISBN: 9789289054157
<https://www.who.int/europe/publications/item/9789289054157> (2019).

125. Costa, L. G., Cole, T. B., Dao, K., Chang, Y.-C. & Garrick, J. M. Developmental impact of air pollution on brain function. *Neurochemistry International* 131, 104580 (2019)
www.doi.org/10.1016/j.neuint.2019.104580.

126. Guxens, M. et al. Air Pollution Exposure During Fetal Life, Brain Morphology, and Cognitive Function in School-Age Children. *Biological Psychiatry* 84, 295–303 (2018)
www.doi.org/10.1016/j.biopsych.2018.01.016.

127. Lopuzanska, U. & Samardakiewicz, M. The Relationship Between Air Pollution and Cognitive Functions in Children and Adolescents: A Systematic Review. *Cognitive and Behavioral Neurology* 33, 157 (2020)
www.doi.org/10.1097/WNN.0000000000000235.

128. TAPAS. Tackling air pollution at school.
<https://tapasnetwork.co.uk/> [30/05/2023].

129. Safe and Healthy Schools and School Routes: Health Benefits for Children – Blog. ISGlobal
<https://www.isglobal.org/en/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/el-entorno-escolar-y-el-camino-a-la-escuela-seguros-y-saludables-beneficios-para-la-salud-infantil/7305043/0> [30/05/2023].

130. Protegim les escoles i Ecologia, Urbanisme, Infraestructures i Mobilitat.
<https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/ca/que-fem-i-per-que/urbanisme-per-als-barris/protegim-escoles> [30/05/2023].

131. Yang, H. Impact of socio-demographic trends on the future health burden of air pollution. *Nature Sustainability* 6, 19–20 (2022)
www.doi.org/10.1038/s41893-022-00978-6.

132. Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C). Informe C: Envejecimiento y bienestar. (2023)
www.doi.org/10.57952/q3ze-2c39.

133. Clean air for a sustainable world. *Nature Communications* 12, 5824 (2021)
www.doi.org/10.1038/s41467-021-25885-w.

134. World Economic Forum. Minority ethnic groups are more likely to live in areas with the worst air pollution. Here's why.
<https://www.weforum.org/agenda/2022/10/ethnic-minorities-worse-air-quality-pollution/> (2022).

135. García Padilla, F. M., Sánchez Alcón, M., Ortega Galán, Á., de la Rosa Díaz, J. D., Gómez Beltrán, M. P. A. & Ramos Pichardo, J. D. Living and health conditions of the immigrant population of the settlements of Huelva. *Revista española de salud pública* 95, (2021).

136. Landrigan, P. J. et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet* 391, 462–512 (2018)
[www.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](http://www.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0).

137. Boogaard, H. et al. Clean air in Europe for all: A call for more ambitious action. *Environmental Epidemiology* 7, E245 (2023)
www.doi.org/10.1097/EE9.0000000000000245.

138. Braig, K. F., Kutepova, N. & Vouleli, V. Playing Second Fiddle to the Aarhus Convention: Why the ECtHR Can and Should Go Further. *Journal for European Environmental & Planning Law* 19, 74–102 (2022)
www.doi.org/10.1163/18760104-19010006.

139. Tollefson, J. How science could aid the US quest for environmental justice. *Nature* (2022)
www.doi.org/10.1038/d41586-022-01504-6.

140. Sacchelli, S. et al. Economic impacts of ambient ozone pollution on wood production in Italy. *Scientific Reports* 11, 154 (2021)
www.doi.org/10.1038/s41598-020-80516-6.

141. United Nations. Economic and Social Council. An evaluation of the economic impact of ozone pollution on agricultural crop production in Europe: technical report prepared by the Coordinating Centre of the International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops (ICP Vegetation). EB.AIR/WG.1/2002/10
<https://digitallibrary.un.org/record/467755> (2002).

142. Harmens, H., Sharps, K., Hayes, F. & Mills, G. Impacts of ozone pollution on biodiversity. http://icpvvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/CEH_BIODIVERSITY_SINGLE_HIGH.pdf [28/02/2023].

143. European Environment Agency. The European environment: state and outlook 2020. ISBN: 978-92-9480-090-9
<https://www.eea.europa.eu/soer/publications/soer-2020> (2019).

144. Grulke, N. E. & Heath, R. L. Ozone effects on plants in natural ecosystems. *Plant Biology* 22, 12–37 (2020)
www.doi.org/10.1111/plb.12971.

145. Agathokleous, E., De Marco, A., Paoletti, E., Querol, X. & Sicard, P. Air pollution and climate change threats to plant ecosystems. *Environmental Research* 212, 113420 (2022)
www.doi.org/10.1016/j.envres.2022.113420.

146. European Environment Agency. Ammonia emissions from agriculture continue to pose problems for Europe.
<https://www.eea.europa.eu/highlights/ammonia-emissions-from-agriculture-continue> (2019).

147. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components. Report 1/2020. ISSN 1504-6192
https://emep.int/publ/reports/2022/EMEP_Status_Report_1_2022.pdf.

148. Ecologistas en acción. La calidad del aire en el Estado español durante 2021.
<https://www.ecologistasenaccion.org/202687/informe-calidad-del-aire-en-el-estado-espanol-2021/> (2022).

149. Ecologistas en Acción. La calidad del aire en el Estado español durante 2022.
<https://www.ecologistasenaccion.org/294459/informe-calidad-del-aire-2022/> (2023).

150. Subdirección General de Aire Limpio y Sostenibilidad Industrial del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Evaluación de la Calidad del Aire en España 2022.
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadairespana2022_tcm30-590211.pdf (2023).

151. Pleijel, H., Danielsson, H. & Broberg, M. C. Benefits of the Phytotoxic Ozone Dose (POD) index in dose-response functions for wheat yield loss. *Atmospheric Environment* 268, 118797 (2022)

- www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118797.
152. Colette, A. et al. ETC/ACM Report 15/2018: Long-term evolution of the impacts of ozone air pollution on agricultural yields in Europe Eionet Report. https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/eionet_rep_etcaem_2018_15_o3impacttrends.
153. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). Particulate matter, carbonaceous and inorganic compounds. EMEP/CCC-Report 1/2022. ISBN: 978-82-425-3096-7 (2022).
154. Ochoa-Hueso, R. et al. Ecological impacts of atmospheric pollution and interactions with climate change in terrestrial ecosystems of the Mediterranean Basin: Current research and future directions. *Environmental Pollution* 227, 194–206 (2017) www.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.062.
155. de Bruyn, S. & de Vries, J. Health costs of air pollution in European cities and the linkage with transport. *CE Delft*. 20.190272.134 (2020).
156. Lu, J. G. Air pollution: A systematic review of its psychological, economic, and social effects. *Current Opinion in Psychology* 32, 52–65 (2020) www.doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.06.024.
157. OECD. The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution. www.doi.org/10.1787/9789264257474-en.
158. Hospido, L., Sanz, C. & Villanueva, E. Air pollution: a review of its economic effects and policies to mitigate them. *Banco de España*. 2301 2301 <https://repositorio.bde.es/handle/123456789/27332> (2023) www.doi.org/10.53479/27332.
159. OECD. The economic cost of air pollution: Evidence from Europe. 1584 https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-economic-cost-of-air-pollution-evidence-from-europe_56119490-en (2019) www.doi.org/10.1787/56119490-en.
160. Air pollution: The invisible effects on productivity, health and economic output. *World Economic Forum* <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/damage-from-air-pollutants-you-won-t-hear-about-from-your-doctor/> [24/01/2023].
161. How air pollution affects office workers—and the economy. *The Economist* (2016).
162. Holub, F., Hospido, L. & Wagner, U. J. Urban air pollution and sick leaves: Evidence from social security data. *Banco de España*. Documentos de Trabajo No 2041 <https://www.bde.es/ft/webbde/SES/Secciones/Publicaciones/PublicacionesSerias/DocumentosTrabajo/20/Files/dt2041e.pdf> (2020).
163. World Bank. The Cost of Air Pollution. Strengthening the Economic Case for Action. <http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/The-cost-of-air-pollution-strengthening-the-economic-case-for-action>.
164. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. II Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica. (2023) https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/sgalsi/atm/C3%B3sfera-y-calidad-del-aire/II_PNCCA_Borrador_20230721.pdf.
165. Dravvik, E. et al. Priorities for research on environment, climate and health, a European perspective. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 21, (2022) www.doi.org/10.1186/s12940-022-00848-w.
166. Allam, Z., Nieuwenhuijsen, M., Chabaud, D. & Moreno, C. The 15-minute city offers a new framework for sustainability, liveability, and health. *The Lancet Planetary Health* 6, e181–e183 (2022) [www.doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00014-6](https://www.doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00014-6).
167. Tainio, M. et al. Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence. *Environment International* 147, 105954 (2021) www.doi.org/10.1016/j.envint.2020.105954.
168. Fang, D., Chen, B., Hubacek, K., Ni, R., Chen, L., Feng, K. & Lin, J. Clean air for some: Unintended spillover effects of regional air pollution policies. *Science Advances* 5, eaav4707 (2019) www.doi.org/10.1126/sciadv.aav4707.
169. Penn, A. S., Bartington, S. E., Moller, S. J., Hamilton, I., Levine, J. G., Hatcher, K. & Gilbert, N. Adopting a Whole Systems Approach to Transport Decarbonisation, Air Quality and Health: An Online Participatory Systems Mapping Case Study in the UK. *Atmosphere* 13, 492 (2022) www.doi.org/10.3390/atmos13030492.
170. Fiore, A. M., Naik, V. & Leibensperger, E. M. Air Quality and Climate Connections. *Journal of the Air & Waste Management Association* 65, 645–685 (2015) www.doi.org/10.1080/10962247.2015.1040526.
171. Samset, B. H. How cleaner air changes the climate. *Science* 360, 148–150 (2018) www.doi.org/10.1126/science.aat1723.
172. von Schneidemesser, E. et al. Chemistry and the Linkages between Air Quality and Climate Change. *Chemical Reviews* 115, 3856–3897 (2015) www.doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00089.
173. Pisoni, E. et al. Modelling the air quality benefits of EU climate mitigation policies using two different PM2.5-related health impact methodologies. *Environment International* 172, 107760 (2023) www.doi.org/10.1016/j.envint.2023.107760.
174. Shindell, D. & Smith, C. J. Climate and air-quality benefits of a realistic phase-out of fossil fuels. *Nature* 573, 408–411 (2019) www.doi.org/10.1038/s41586-019-1554-z.
175. Air quality and climate change EU policies. *Epthinktank* <https://epthinktank.eu/2014/05/06/air-quality-and-climate-change-eu-policies/> [13/04/2023].
176. Harmsen, M. J. H. M., van Dorst, P., van Vuuren, D. P., van den Berg, M., Van Dingenen, R. & Klimont, Z. Co-benefits of black carbon mitigation for climate and air quality. *Climatic Change* 163, 1519–1538 (2020) www.doi.org/10.1007/s10584-020-02800-8.
177. Scovronick, N. et al. The impact of human health co-benefits on evaluations of global climate policy. *Nature Communications* 10, 2095 (2019) www.doi.org/10.1038/s41467-019-09499-x.
178. Cresswell-Clay, N., Ummenhofer, C. C., Thatcher, D. L., Wanamaker, A. D., Denniston, R. F., Asmerom, Y. & Polyak, V. J. Twentieth-century Azores High expansion unprecedented in the past 1,200 years. *Nature Geoscience* 15, 548–553 (2022) www.doi.org/10.1038/s41561-022-00971-w.
179. Gomez, J. et al. The projected future degradation in air quality is caused by more abundant natural aerosols in a warmer world. *Communications Earth & Environment* 4, 1–11 (2023) www.doi.org/10.1038/s43247-023-00688-7.
180. Doherty, R. M., Heal, M. R. & O'Connor, F. M. Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environmental Health* 16, 118 (2017) www.doi.org/10.1186/s12940-017-0325-2.
181. Fu, T.-M. & Tian, H. Climate Change Penalty to Ozone Air Quality: Review of Current Understandings and Knowledge Gaps. *Current Pollution Reports* 5, 159–171 (2019) www.doi.org/10.1007/s40726-019-00115-6.
182. Lin, M. et al. Vegetation feedbacks during drought exacerbate ozone air pollution extremes in Europe. *Nature Climate Change* 10, 444–451 (2020) www.doi.org/10.1038/s41558-020-0743-y.
183. Linares, C., Martínez, G. S., Kendrovski, V. & Diaz, J. A new integrative perspective on early warning systems for health in the context of climate change. *Environmental Research* 187, (2020) www.doi.org/10.1016/j.envres.2020.109623.
184. Xu, R. et al. Wildfires, Global Climate Change, and Human Health. *New England Journal of Medicine* 383, 2173–2181 (2020) www.doi.org/10.1056/NEJMSr2028985.
185. Romanello, M. et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *The Lancet* 398, 1619–1662 (2021) [www.doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](https://www.doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6).
186. Zandalinas, S. I., Fritschi, F. B. & Mittler, R. Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. *Trends in Plant Science* 26, 588–599 (2021) www.doi.org/10.1016/j.tplants.2021.02.011.
187. Why extreme heat and air pollution is a deadly combination. *World Economic Forum* <https://www.weforum.org/agenda/2022/08/heat-waves-air-pollution-deadly-health-risk-climate-change/> [24/01/2023].
188. Ingole, V. et al. Local mortality impacts due to future air pollution under climate change scenarios. *Science of the Total Environment* 823, (2022) www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153832.
189. Ruiz-Páez, R. et al. Does the meteorological origin of heat waves influence their impact on health? A 6-year morbidity and mortality study in Madrid (Spain). *Science of The Total Environment* 855, 158900 (2023) www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158900.
190. Borge, R., Requía, W. J., Yagüe, C., Jhun, I. & Koutrakis, P. Impact of weather changes on air quality and related mortality in Spain over a 25 year period [1993–2017]. *Environment International* 133, 105272 (2019) www.doi.org/10.1016/j.envint.2019.105272.
191. The Lancet Respiratory medicine. Air pollution, climate change, and lung health in Europe. *The Lancet Respiratory Medicine* 11, 851 (2023) [www.doi.org/10.1016/S2213-2600\(23\)00345-4](https://www.doi.org/10.1016/S2213-2600(23)00345-4).
192. Maione, M., Fowler, D., Monks, P. S., Reis, S., Rudich, Y., Williams, M. L. & Fuzzi, S. Air quality and climate change: Designing new win-win policies for Europe. *Environmental Science & Policy* 65, 48–57 (2016) www.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.03.011.
193. Van, A. J. et al. Climate and Air Quality Impacts of Combined Climate Change and Air Pollution Policy Scenarios. *JRC Publications Repository* <https://publications.jrc.europa.eu/repository/handle/JRC61281> [02/02/2023] www.doi.org/10.2788/33719.
194. Well under 2 degrees Celsius: Fast action policies to protect people and the planet from extreme climate changes. *Climate & Clean Air Coalition* <https://www.ccacoalition.org/en/resources/well-under-2-degrees-celsius-fast-action-policies-protect-people-and-planet-extreme> [01/02/2023].
195. Shammut, M., Cao, M., Zhang, Y., Papaix, C., Liu, Y. & Gao, X. Banning Diesel Vehicles in London: Is 2040 Too Late? *Energies* 12, 3495 (2019) www.doi.org/10.3390/en12183495.
196. Wallington, T. J., Lambert, C. K. & Ruona, W. C. Diesel vehicles and sustainable mobility in the U.S. *Energy Policy* 54, 47–53 (2013) www.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.068.
197. AIRUSE. LIFE11/ENV/ES/584. Testing and development of air quality mitigation measures in Southern Europe. The experience of Northern and Central Europe in improving urban air quality.
198. Cordell, R. L. et al. Evaluation of biomass burning across North West Europe and its impact on air quality. *Atmospheric Environment* 141, 276–286 (2016) www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.065.
199. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. El Pacto Verde Europeo. (2019).
200. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. La senda hacia un planeta sano para todos. Plan de Acción de la UE: «Contaminación cero para el aire, el agua y el suelo». (2021).
201. Climate-neutral and smart cities. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en [23/04/2023].
202. Consejo de la Unión Europea. Paquete «aire puro»: Mejorar la calidad del aire en Europa. <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/clean-air/> [15/11/2023].
203. European Commission – Air. https://environment.ec.europa.eu/topics/air_en [23/01/2023].

204. Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. OJ L vol. 023 (2004).
205. 2011/850/UE: Decisión de Ejecución de la Comisión, de 12 de diciembre de 2011, por la que se establecen disposiciones para las Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en relación con el intercambio recíproco de información y la notificación sobre la calidad del aire ambiente [notificada con el número C(2011) 9068]. OJ L vol. 335 (2011).
206. Directiva (UE) 2015/1480 de la Comisión, de 28 de agosto de 2015, por la que se modifican varios anexos de las Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en los que se establecen las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente (Texto pertinente a efectos del EEE). OJ L vol. 226 (2015).
207. Revision of the Ambient Air Quality Directives: Factual summary report of the Open Public Consultation. 23 September – 16 December 2021. Ref. Ares(2022)1028137-11/02/2022
https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12677-Revision-of-EU-Ambient-Air-Quality-legislation/public-consultation_en.
208. Parlamento Europeo. Calidad del aire: límites más estrictos para lograr contaminación cero en 2050.
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20230911PRO4915/calidad-del-aire-limites-mas-estrictos-para-lograr-contaminacion-cero-en-2050> [08/11/2023].
209. Parlamento Europeo. Texts adopted – Ambient air quality and cleaner air for Europe – Wednesday, 13 September 2023.
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0318_EN.html [13/11/2023].
210. European Commission. Questions and Answers on New Air Quality Rules.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ganda_22_6348 [31/05/2023].
211. European, public health, & European Public Health Alliance. A Window of Opportunity to save hundreds of thousands of lives in Europe.
<https://epha.org/wp-content/uploads/2023/05/epha-position-paper-on-the-aqds.pdf> (2023).
212. DIRECTIVA (UE) 2016/ 2284 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 14 de diciembre de 2016 - relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, por la que se modifica la Directiva 2003/ 35/ CE y se deroga la Directiva 2001/ 81/ CE.
213. Decisión de Ejecución (UE) 2018/1522 de la Comisión, de 11 de octubre de 2018, por la que se establece un formato común para los programas nacionales de control de la contaminación atmosférica en el marco de la Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos [notificada con el número C(2018) 6549] (Texto pertinente a efectos del EEE). OJ L vol. 256 (2018).
214. Communication from the Commission – Guidance for the development of National Air Pollution Control Programmes under Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants. (2019).
215. Comunicación de la Comisión (1) sobre el seguimiento de los ecosistemas en el marco del artículo 9 y del anexo V de la Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos (Directiva sobre techos nacionales de emisión). (2019/C 92/01). (2019).
216. Sistema Español de Inventario de Emisiones: Informe interactivo.
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/informe-interactivo-inventario-nacional-emisiones.aspx>.
217. Sistema Español de Inventario de Emisiones.
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/default.aspx> [03/03/2023].
218. El Inventario español de emisiones de contaminantes atmosféricos, galardonado por el Convenio de Ginebra por ser el más completo.
https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/ecologica/Paginas/2019/060619-te-contaminacion_a.aspx [13/03/2023].
219. Harrison, R. M., Beddows, D. C. S., Tong, C. & Damayanti, S. Non-linearity of secondary pollutant formation estimated from emissions data and measured precursor-secondary pollutant relationships. npj Climate and Atmospheric Science 5, 1–9 (2022)
[www.doi.org/10.1038/s41612-022-00297-9](https://doi.org/10.1038/s41612-022-00297-9).
220. Mircea, M., Calori, G., Pirovano, G. & Belis, C. European guide on air pollution source apportionment for particulate matter with source oriented models and their combined use with receptor models. JRC Publications Repository
<https://publicationstest.jrc.ec.eu.int/repository/handle/JRC119067> [09/03/2023]
[www.doi.org/10.2760/470628](https://doi.org/10.2760/470628).
221. Banja, M. & Crippa, M. Methodological overview on the calculation of air pollutant and greenhouse gas emissions from agricultural activities. JRC Publications Repository
<https://publicationstest.jrc.ec.eu.int/repository/handle/JRC121579> [09/03/2023]
[www.doi.org/10.2760/255034](https://doi.org/10.2760/255034).
222. Improving national air pollutants emissions inventories.
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news/improving-national-air-pollutants-emissions-inventories-2021-10-11_en [09/03/2023].
223. OECD. Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: An Ignored Environmental Policy Challenge. (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2020).
224. Thunis, P. et al. Recommendations for the revision of the ambient air quality directives (AAQDs) regarding modelling applications. JRC Publications Repository
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129600> [19/01/2023]
[www.doi.org/10.2760/761078](https://doi.org/10.2760/761078).
225. European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. SSN 1977-8449
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (2019).
226. Fernández Díez-Picazo, M. Inventario Nacional de Emisiones. II Foro – Bases Científicas Mejora Calidad Aire España. (2019).
227. Guevara, M., Lopez-Aparicio, S., Cuvelier, C., Tarrason, L., Clappier, A. & Thunis, P. A benchmarking tool to screen and compare bottom-up and top-down atmospheric emission inventories. Air Quality, Atmosphere and Health 10, 627–642 (2017)
[www.doi.org/10.1007/s11869-016-0456-6](https://doi.org/10.1007/s11869-016-0456-6).
228. Thunis, P., Clappier, A., Pisoni, E., Bessagnet, B., Kuenen, J., Guevara, M. & Lopez-Aparicio, S. A multi-pollutant and multi-sectorial approach to screening the consistency of emission inventories. Geoscientific Model Development 15, 5271–5286 (2022)
[www.doi.org/10.5194/gmd-15-5271-2022](https://doi.org/10.5194/gmd-15-5271-2022).
229. European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023.
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>.
230. Vedrenne, M. et al. A comprehensive approach for the evaluation and comparison of emission inventories in Madrid. Atmospheric Environment 145, 29–44 (2016)
[www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.020](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.020).
231. Vedrenne, M., Lumbreras, J., Borge, R., Clappier, A., Thunis, P. & Rodríguez, E. Comparing air quality model performance for planning applications. HARMO 2016 – 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Proceedings. vols 2016–May 277–281 (2016).
232. Air. UNECE.
<https://unece.org/environment-policy/air> [01/03/2023].
233. World Health Organization. Air pollution.
<https://www.who.int/health-topics/air-pollution> [01/03/2023].
234. UNEP. UNEP – Air. UNEP – UN Environment Programme
<http://www.unep.org/explore-topics/air> [01/03/2023].
235. Climate & Clean Air Coalition. Climate & Clean Air Coalition
<https://www.ccaalition.org/en> [01/03/2023].
236. Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. UNECE.
<https://unece.org/environment-policy/air/protocol-abate-acidification-eutrophication-and-ground-level-ozone> [01/03/2023].
237. Comisión Europea. International cooperation to tackle transboundary air pollution.
https://environment.ec.europa.eu/topics/air/international-cooperation_en [01/03/2023].
238. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Planes de calidad del aire.
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/planes-mejora/> [19/04/2023].
239. Bowdalo, D. et al. Compliance with 2021 WHO air quality guidelines across Europe will require radical measures. Environmental Research Letters 17, 021002 (2022)
[www.doi.org/10.1088/1748-9326/ac44c7](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac44c7).
240. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Red EMEP/VAG/CAMP.
<https://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/contaminacionfondo/ayuda> [03/03/2023].
241. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Contaminación de fondo.
<https://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/contaminacionfondo> [03/03/2023].
242. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). The European Monitoring and Evaluation Programme.
<https://www.emep.int/> [18/04/2023].
243. World Meteorological Organization. Global Atmosphere Watch Programme (GAW).
<https://community.wmo.int/en/activity-areas/gaw> [18/04/2023].
244. Convención para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste. OSPAR Data & Information Management System (ODIMS).
<https://odims.ospar.org/en/> [18/04/2023].
245. Centro de Investigación Atmosférica de IZAÑA.
<https://izana.aemet.es/> [16/05/2023].
246. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). El observatorio de Izaña se convierte en el referente mundial en medición de aerosoles tras la erupción del volcán Mauna Loa en Hawái.
<https://www.miteco.gob.es/gl/prensa/ultimas-noticias/el-observatorio-de-iza%C3%B1a-se-convierte-en-el-referente-mundial-en-medici%C3%B3n-de-aerosoles-tras-la-erupci%C3%B3n-del-volc%C3%A1n-mauna-loa-en-haw%C3%A1i?tc=37-550046> [16/05/2023].
247. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Redes de vigilancia de la calidad del aire.
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/redes/> [03/03/2023].
248. Laboratorio Nacional de Referencia de Calidad del Aire.
<https://www.isciii.es/QueHacemos/Servicios/SanidadAmbiental/Paginas/LaboratorioNacionalReferenciaCalidadAire.aspx> [09/03/2023].
249. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Composición química de la atmósfera.
<https://www.aemet.es/es/eltiempo/prevision/calidad-del-aire> [18/04/2023].
250. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Índice Nacional de Calidad del Aire.
<https://ica.miteco.es/> [18/04/2023].

251. Vedrenne, M. et al. An integrated assessment of two decades of air pollution policy making in Spain: Impacts, costs and improvements. *Science of The Total Environment* 527–528, 351–361 (2015)
[www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.014](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.014).
252. Izquierdo, R., García Dos Santos, S., Borge, R., Paz, D. de la, Sarigiannis, D., Gotti, A. & Boldo, E. Health impact assessment by the implementation of Madrid City air-quality plan in 2020. *Environmental Research* 183, 109021 (2020)
[www.doi.org/10.1016/j.envres.2019.109021](https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109021).
253. Vivanco, M. G. et al. Assessment of the Effects of the Spanish National Air Pollution Control Programme on Air Quality. *Atmosphere* 12, 158 (2021)
[www.doi.org/10.3390/atmos12020158](https://doi.org/10.3390/atmos12020158).
254. Gamarra, A. R. et al. Avoided Mortality Associated with Improved Air Quality from an Increase in Renewable Energy in the Spanish Transport Sector: Use of Biofuels and the Adoption of the Electric Car. *Atmosphere* 12, 1603 (2021)
[www.doi.org/10.3390/atmos12121603](https://doi.org/10.3390/atmos12121603).
255. Borge, R., Izquierdo, R., de la Paz, D., Dos Santos, S. G., Nuñez, B., Sarigiannis, D. & Boldo, E. Madrid's plan a health impact assessment. (2020).
256. Comisión Europea. Revision EU ambient air quality legislation.
https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation_en [26/04/2023].
257. Strengthening of air quality monitoring, modelling and plans under the Ambient Air Quality Directives. Service Request 9 under Framework Contract. ENV.C.3/FRA/2017/OO12 file:///C:/Users/jroscales/Downloads/SR9_Final_study%20(1).pdf (2022).
258. U.S. Government Accountability Office. Air Pollution: Opportunities to Better Sustain and Modernize the National Air Quality Monitoring System. GAO–21–38 (2020).
259. U.S. Government Accountability Office. Air quality information. Need Remains for Plan to Modernize Air Monitoring. GAO–22–106136 (2022).
260. World Meteorological Organization. An Update on Low-Cost Sensors for the Measurement of Atmospheric Composition. ISBN 978-92-63-11215-6
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10620 (2020).
261. Kuula, J. et al. Opinion: Insights into updating Ambient Air Quality Directive 2008/50/EC. *Atmospheric Chemistry and Physics* 22, 4801–4808 (2022)
[www.doi.org/10.5194/acp-22-4801-2022](https://doi.org/10.5194/acp-22-4801-2022).
262. Ionascu, M.-E., Castell, N., Boncalo, O., Schneider, P., Darie, M. & Marcu, M. Calibration of CO, NO₂, and O₃ using airfry: A low-cost sensor cluster for air quality monitoring. *Sensors* 21, (2021)
[www.doi.org/10.3390/s21237977](https://doi.org/10.3390/s21237977).
263. Grossberndt, S., Passani, A., Di Lisio, G., Janssen, A. & Castell, N. Transformative potential and learning outcomes of air quality citizen science projects in high schools using low-cost sensors. *Atmosphere* 12, (2021)
[www.doi.org/10.3390/atmos12060736](https://doi.org/10.3390/atmos12060736).
264. UNE Normalización Española. UNE-CEN/TS 17660-1:2021 Calidad del aire. Evaluación del rendimiento de los sistemas de sensores de la calidad del aire. Parte I: Contaminantes gaseosos en el aire ambiente. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en febrero de 2022).
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0068024> [31/01/2023].
265. Borrego, C. et al. Assessment of air quality micro-sensors versus reference methods: The EuNetAir Joint Exercise – Part II. *Atmospheric Environment* 193, 127–142 (2018)
[www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.028](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.028).
266. Yatkın, S., Gerboles, M., Borowiak, A. & Signorini, M. Guidance on low-cost air quality sensor deployment for non-experts based on the AirSensEUR experience. JRC Publications Repository
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130628> [16/03/2023]
[www.doi.org/10.2760/180094](https://doi.org/10.2760/180094).
267. Watne, Å. K., Linden, J., Wilhelmsson, J., Fridén, H., Gustafsson, M. & Castell, N. Tackling Data Quality When Using Low-Cost Air Quality Sensors in Citizen Science Projects. *Frontiers in Environmental Science* 9, (2021)
[www.doi.org/10.3389/fenvs.2021.733634](https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.733634).
268. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Jornada sobre estado de desarrollo actual y aplicaciones de sensores de bajo coste en calidad del aire.
https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/formacion/Jornadas_sensores-bajo-coste.aspx [22/04/2023].
269. Holloway, T. et al. Satellite Monitoring for Air Quality and Health. *Annual Review of Biomedical Data Science* 4, 417–447 (2021)
[www.doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120](https://doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120).
270. Potts, D. A., Ferranti, E. J. S., Timmis, R., Brown, A. S. & Vande Hey, J. D. Satellite Data Applications for Site-Specific Air Quality Regulation in the UK: Pilot Study and Prospects. *Atmosphere* 12, 1659 (2021)
[www.doi.org/10.3390/atmos12121659](https://doi.org/10.3390/atmos12121659).
271. Barcelona Supercomputing Center. El BSC desarrolla el primer modelo de calidad del aire creado en España que se incorpora al programa Copernicus de la Unión Europea.
<https://www.bsc.es/es/noticias/noticias-del-bsc/el-bsc-desarrolla-el-primer-modelo-de-calidad-del-aire-creado-en-espa%C3%BAa-que-se-incorpora-al-programa> [24/01/2023].
272. Di Tomaso, E. et al. The MONARCH high-resolution reanalysis of desert dust aerosol over Northern Africa, the Middle East and Europe (2007–2016). *Earth System Science Data* 14, 2785–2816 (2022)
[www.doi.org/10.5194/essd-14-2785-2022](https://doi.org/10.5194/essd-14-2785-2022).
273. Copernicus.
<https://atmosphere.copernicus.eu/about-us> [09/03/2023].
274. Copernicus. Copernicus research: what's on the Horizon?
<https://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-research-whats-horizon> [09/03/2023].
275. Comisión Europea. Better access to satellite data for novel air-quality applications.
<https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/projects/success-stories/all/better-access-satellite-data-novel-air-quality-applications> [09/03/2023].
276. Kuenen, J., Dellaert, S., Visschedijk, A., Jalkanen, J.-P., Super, I. & Denier van der Gon, H. CAMS-REG-v4: a state-of-the-art high-resolution European emission inventory for air quality modelling. *Earth System Science Data* 14, 491–515 (2022)
[www.doi.org/10.5194/essd-14-491-2022](https://doi.org/10.5194/essd-14-491-2022).
277. Sorek-Hamer, M. et al. A Deep Learning Approach for Meter-Scale Air Quality Estimation in Urban Environments Using Very High-Spatial-Resolution Satellite Imagery. *Atmosphere* 13, 696 (2022)
[www.doi.org/10.3390/atmos13050696](https://doi.org/10.3390/atmos13050696).
278. World Economic Forum. How China is Tackling Air Pollution With Tech And Big Data.
<https://www.weforum.org/agenda/2021/02/china-tackling-air-pollution-big-data/> [16/02/2023].
279. Comisión Europea. Fighting deadly air pollution in cities with sensors and satellites.
<https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/fighting-deadly-air-pollution-cities-sensors-and-satellites> [09/03/2023].
280. Novak, R. et al. Harmonization and Visualization of Data from a Transnational Multi-Sensor Personal Exposure Campaign. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 11614 (2021)
[www.doi.org/10.3390/ijerph182111614](https://doi.org/10.3390/ijerph182111614).
281. Picornell, M., Ruiz, T., Borge, R., García-Albertos, P., de la Paz, D. & Lumberras, J. Population dynamics based on mobile phone data to improve air pollution exposure assessments. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 29, 278–291 (2019)
[www.doi.org/10.1038/s41370-018-0058-5](https://doi.org/10.1038/s41370-018-0058-5).
282. Cristóbal, Á. La normativa de calidad del aire en España y la Unión Europea. La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial. 111–122 (Fundación Gas Natural Fenosa, 2018). ISBN: 978-84-09-01905-2.
283. Martín, F., Fileni, L., Palomino, I., Vivanco, M. G. & Garrido, J. L. Analysis of the spatial representativeness of rural background monitoring stations in Spain. *Atmospheric Pollution Research* 5, 779–788 (2014)
[www.doi.org/10.5094/APR.2014.087](https://doi.org/10.5094/APR.2014.087).
284. Joint Research Centre (JRC. European Commission. FAIRMODE: spatial representativeness feasibility study. ISBN 978-92-79-50322-1 (
<https://data.europa.eu/doi/10.2788/49487>) (2015).
285. Martín, F., Vivanco, M. G., Theobald, M., Garrido, J. L., Gil, V. & Rodríguez-Sánchez, A. Utilización de la modelización como apoyo en el diseño de Redes de Calidad del Aire. Protocolo de Actuación MITERD-CIEMAT (2021–2024) Subactividad 2.A: Análisis de la representatividad espacial de las redes de medida de la contaminación de fondo rural. Fernando Martín, Marta G. Vivanco, Mark Theobald, Juan Luis Garrido, Victoria Gil, Alejandro Rodríguez-Sánchez. División de Contaminación Atmosférica CIEMAT. Informe CIEMAT 3/2021.
286. Comisión Europea. FAIRMODE – Forum for Air quality Modeling.
<https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/> [09/03/2023].
287. Pisoni, E. et al. Best practices for local and regional Air Quality management. Technical report by the Joint Research Centre (JRC). ISBN 978-92-76-53177-7
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129029> (2022)
[www.doi.org/10.2760/993882](https://doi.org/10.2760/993882).
288. Comisión Europea. FAIRMODE – Forum for Air quality Modeling. Strategy.
<https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/Segment/Strategy> [09/03/2023].
289. Borge, R. et al. Application of a short term air quality action plan in Madrid (Spain) under a high-pollution episode – Part II: Assessment from multi-scale modelling. *Science of The Total Environment* 635, 1574–1584 (2018)
[www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.323](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.323).
290. Santiago, J. L. et al. Estimates of population exposure to atmospheric pollution and health-related externalities in a real city: The impact of spatial resolution on the accuracy of results. *Science of The Total Environment* 819, 152062 (2022)
[www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152062](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152062).
291. Santiago, J.-L. et al. High Spatial Resolution Assessment of the Effect of the Spanish National Air Pollution Control Programme on Street-Level NO₂ Concentrations in Three Neighborhoods of Madrid (Spain) Using Mesoscale and CFD Modelling. *Atmosphere* 13, (2022)
[www.doi.org/10.3390/atmos13020248](https://doi.org/10.3390/atmos13020248).
292. Quaassdorff, C., Smit, R., Borge, R. & Hausberger, S. Comparison of microscale traffic emission models for urban networks. *Environmental Research Letters* 17, (2022)
[www.doi.org/10.1088/1748-9326/ac8b21](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8b21).
293. Brunekreef, B. et al. Clean air in Europe: beyond the horizon? *European Respiratory Journal* 45, 7–10 (2015)
[www.doi.org/10.1183/09031336.00186114](https://doi.org/10.1183/09031336.00186114).
294. Eguiluz-Gracia, I. et al. The need for clean air: The way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma. *Allergy* 75, 2170–2184 (2020)
[www.doi.org/10.1111/all.14177](https://doi.org/10.1111/all.14177).
295. European Environment Agency. Spain – Air pollution country fact sheet.
<https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2021-country-fact-sheets/spain> [10/03/2023].
296. Comisión Europea. Air quality: Commission refers Bulgaria and Spain to court.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/HR/IP_19_4256 [22/05/2023].
297. Tribunal de Justicia de la Unión Europea. Sentencia del Tribunal de Justicia (Sala Sexta) de 22 de diciembre de 2022. Asunto C-125/20. Sentencia ECLI:EU:C:2022:1025.
<https://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?jses-sonid=481C5C1B1CC6563C903FDC958A6F5463?text=&docid=268805&pageIndex=0&doclang=es&mode=lst&dir=&occ=first&part=1&cid=11125197> (2022).
298. European Environment Agency. Exceedance of air quality standards in Europe.
<https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards> (2023).

299. Badia, A. et al. A take-home message from COVID-19 on urban air pollution reduction through mobility limitations and teleworking. *npj Urban Sustainability* 1, 1–10 (2021) [www.doi.org/10.1038/s42949-021-00037-7](https://doi.org/10.1038/s42949-021-00037-7).
300. Dobricic, S., Pisoni, E., Pozzoli, L., Van, D. R., Lettieri, T., Wilson, J. & Vignati, E. Do environmental factors such as weather conditions and air pollution influence COVID-19 outbreaks? Science for Policy report by the Joint Research Centre (JRC), doi:10.2760/6831 <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121505> (2020) [www.doi.org/10.2760/6831](https://doi.org/10.2760/6831).
301. Baldasano, J. M. COVID-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain). *Science of The Total Environment* 741, 140353 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140353](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140353).
302. Cordero, J. M., Narros, A. & Borge, R. True Reduction in the Air Pollution Levels in the Community of Madrid During the COVID-19 Lockdown. *Frontiers in Sustainable Cities* 4, (2022) [www.doi.org/10.3389/frsc.2022.869000](https://doi.org/10.3389/frsc.2022.869000).
303. Grange, S. K., Lee, J. D., Drysdale, W. S., Lewis, A. C., Hueglin, C., Emmenegger, L. & Carslaw, D. C. COVID-19 lockdowns highlight a risk of increasing ozone pollution in European urban areas. *Atmospheric Chemistry and Physics* 21, 4169–4185 (2021) [www.doi.org/10.5194/acp-21-4169-2021](https://doi.org/10.5194/acp-21-4169-2021).
304. Sokhi, R. S. et al. A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions. *Environment International* 157, (2021) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818](https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818).
305. Comisión Europea. Infringement Decisions. AIR – Bad application of the National Emission reduction Commitments Directive (NECD) in Spain. INFR(2022)2071. https://ec.europa.eu/atrwork/applying-eu-law/infringements-proceedings/infringement_decisions/index.cfm?lang_code=EN&typeOfSearch=false&active_only=0&nonocom=0&rdossier=INFR%282022%292071&decision_date_from=&decision_date_to=&title=&submit=Search [18/04/2023].
306. Khomenko, S. et al. Health impacts of the new WHO air quality guidelines in European cities. *The Lancet Planetary Health* 5, e764 (2021) [www.doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00288-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00288-6).
307. Giannadaki, D., Lelieveld, J. & Pozzer, A. Implementing the US air quality standard for PM_{2.5} worldwide can prevent millions of premature deaths per year. *Environmental Health* 15, 88 (2016) [www.doi.org/10.1186/s12940-016-0170-8](https://doi.org/10.1186/s12940-016-0170-8).
308. Exceeding limit values for pollution – Luftkvalitet. <https://luftkvalitet-cms.wp2.nilu.no/exceeding-limit-values-for-pollution/> [30/05/2023].
309. Giardullo, P. et al. Air quality from a social perspective in four European metropolitan areas: Research hypothesis and evidence from the SEFIRA project. *Environmental Science & Policy* 65, 58–64 (2016) [www.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.002](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.002).
310. Riley, R., de Preux, L., Capella, P., Mejia, C., Kajikawa, Y. & de Nazelle, A. How do we effectively communicate air pollution to change public attitudes and behaviours? A review. *Sustainability Science* 16, 2027–2047 (2021) [www.doi.org/10.1007/s11625-021-01038-2](https://doi.org/10.1007/s11625-021-01038-2).
311. Xavier, Q., Fluvio, A., Karanasiou, A., Celades, I., Sanfelix, V. & Monforte, E. Measures to improve urban air quality. (2017). ISBN: 978-84-697-5499-3.
312. Borge, R. La calidad del aire: un reto para todos. *Escritura pública* 13–13 (2017).
313. Heald, C. L. & Kroll, J. H. A radical shift in air pollution. *Science* 374, 688–689 (2021) [www.doi.org/10.1126/science.abc5978](https://doi.org/10.1126/science.abc5978).
314. Wang, H. et al. Seasonality and reduced nitric oxide titration dominated ozone increase during COVID-19 lockdown in eastern China. *npj Climate and Atmospheric Science* 5, 1–7 (2022) [www.doi.org/10.1038/s41612-022-00249-3](https://doi.org/10.1038/s41612-022-00249-3).
315. Querol, X. et al. On the origin of the highest ozone episodes in Spain. *Science of The Total Environment* 572, 379–389 (2016) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.193](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.193).
316. Li, K. et al. A two-pollutant strategy for improving ozone and particulate air quality in China. *Nature Geoscience* 12, 906–910 (2019) [www.doi.org/10.1038/s41561-019-0464-x](https://doi.org/10.1038/s41561-019-0464-x).
317. Veld, M. I. et al. Compositional changes of PM_{2.5} in NE Spain during 2009–2018: A trend analysis of the chemical composition and source apportionment. *Science of The Total Environment* 795, (2021) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148728](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148728).
318. Chen, G. et al. European aerosol phenomenology – 8: Harmonised source apportionment of organic aerosol using 22 Year-long ACSM/AMS datasets. *Environment International* 166, (2022) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2022.107325](https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107325).
319. La calima convierte hoy a España en el país más contaminado del mundo. Agencia SINC <https://www.agenciasinc.es/Opinion/La-calima-convierte-hoy-a-Espana-en-el-pais-mas-contaminado-del-mundo> [24/01/2023].
320. Morawska, L. et al. The state of science on severe air pollution episodes: Quantitative and qualitative analysis. *Environment International* 156, 106732 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106732](https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106732).
321. Moreira, I., Linares, C., Follos, F., Sánchez-Martínez, G., Vellón, J. M. & Díaz, J. Short-term effects of Saharan dust intrusions and biomass combustion on birth outcomes in Spain. *Science of The Total Environment* 701, (2020) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134755](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134755).
322. Querol, X. et al. Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies. *Environment International* 130, (2019) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.061](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.061).
323. Menéndez, I. et al. Saharan dust and the impact on adult and elderly allergic patients: the effect of threshold values in the northern sector of Gran Canaria, Spain. *International Journal of Environmental Health Research* 27, 144–160 (2017) [www.doi.org/10.1080/09603123.2017.1292496](https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1292496).
324. Hernandez, Y., Guimarães Pereira, Â. & Barbosa, P. Resilient futures of a small island: A participatory approach in Tenerife (Canary Islands) to address climate change. *Environmental Science & Policy* 80, 28–37 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.008](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.008).
325. Dominguez-Rodríguez, A. et al. Saharan Dust Events in the Dust Belt – Canary Islands – and the Observed Association with in-Hospital Mortality of Patients with Heart Failure. *Journal of Clinical Medicine* 9, 376 (2020) [www.doi.org/10.3390/jcm9020376](https://doi.org/10.3390/jcm9020376).
326. López-Villarrubia, E., Costa Estirado, O., Íñiguez Hernández, C. & Ballester Díez, F. Do Saharan Dust Days Carry a Risk of Hospitalization From Respiratory Diseases for Citizens of the Canary Islands (Spain)? *Archivos de Bronconeumología (English Edition)* 57, 464–470 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.arbr.2020.03.032](https://doi.org/10.1016/j.arbr.2020.03.032).
327. Santos-Alves, S. G. D. Polvo sahariano: cómo afecta a la salud y a la calidad del aire. *The Conversation* <http://theconversation.com/polvo-sahariano-como-afecta-a-la-salud-y-a-la-calidad-del-aire-179338> [21/03/2023].
328. Querol, X. et al. African dust and air quality over Spain: Is it only dust that matters? *Science of The Total Environment* 686, 737–752 (2019) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.349](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.349).
329. Reyes, M., Díaz, J., Tobías, A., Montero, J. C. & Linares, C. Impact of Saharan dust particles on hospital admissions in Madrid (Spain). *International Journal of Environmental Health Research* 24, 63–72 (2014) [www.doi.org/10.1080/09603123.2013.782604](https://doi.org/10.1080/09603123.2013.782604).
330. Jiménez, E., Linares, C., Martínez, D. & Díaz, J. Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Science of The Total Environment* 408, 5729–5736 (2010) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.049](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.049).
331. Díaz, J., Linares, C., Carmona, R., Russo, A., Ortiz, C., Salvador, P. & Trigo, R. M. Saharan dust intrusions in Spain: Health impacts and associated synoptic conditions. *Environmental Research* 156, 455–467 (2017) [www.doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.047](https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.047).
332. Perez, L., Tobías, A., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Díaz, J. & Sunyer, J. Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: A case-crossover study in Barcelona (Spain). *Environment International* 48, 150–155 (2012) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2012.07.001](https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.07.001).
333. Salvador, P. et al. Synergistic effect of the occurrence of African dust outbreaks on atmospheric pollutant levels in the Madrid metropolitan area. *Atmospheric Research* 226, 208–218 (2019) [www.doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.04.025](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.04.025).
334. Wang, Q., Gu, J. & Wang, X. The impact of Sahara dust on air quality and public health in European countries. *Atmospheric Environment* 241, 117771 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117771](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117771).
335. Monteiro, A. et al. Multi-sectoral impact assessment of an extreme African dust episode in the Eastern Mediterranean in March 2018. *Science of The Total Environment* 843, 156861 (2022) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156861](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156861).
336. Rodríguez-Arias, R. M., Rojo, J., Fernández-González, F. & Pérez-Badía, R. Desert dust intrusions and their incidence on airborne biological content. Review and case study in the Iberian Peninsula. *Environmental Pollution* 316, 120464 (2023) [www.doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120464](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120464).
337. Querol, X. et al. Phenomenology of high-ozone episodes in NE Spain. *Atmospheric Chemistry and Physics* 17, 2817–2838 (2017) [www.doi.org/10.5194/acp-17-2817-2017](https://doi.org/10.5194/acp-17-2817-2017).
338. in 't Veld, M. et al. Understanding the local and remote source contributions to ambient O₃ during a pollution episode using a combination of experimental approaches in the Guadalquivir valley, southern Spain. *Science of The Total Environment* 777, 144579 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144579](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144579).
339. Borge, R. et al. Application of a short term air quality action plan in Madrid (Spain) under a high-pollution episode – Part I: Diagnostic and analysis from observations. *Science of The Total Environment* 635, 1561–1573 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.149](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.149).
340. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. Real Decreto 34/2023, de 24 de enero, por el que se modifican el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire; el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, aprobado mediante el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre; y el Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos. vol. BOE-A-2023-2026 10326–10348 (2023).
341. Mazzeo, A. et al. Impact of residential combustion and transport emissions on air pollution in Santiago during winter. *Atmospheric Environment* 190, 195–208 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.043](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.043).
342. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Intrusiones de polvo mineral sahariano. https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/polvo_mineral [21/03/2023].
343. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Histórico de Informes de Episodios Naturales. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/fuentes-naturales/anales.aspx> [21/03/2023].
344. WMO Barcelona Regional Center. WMO Barcelona Dust Regional Center <https://dust.aemet.es> [18/04/2023].
345. Barcelona Dust Regional Center. Polvo Mineral. <https://polvomineral.aemet.es/index.html> [18/04/2023].
346. Di Tomaso, E. et al. MONARCH Regional Reanalysis of Desert Dust Aerosols: An Initial Assessment. *Air Pollution Modeling and its Application XXVIII* (eds. Mensink, C. & Jorba, O.) 241–247 (Springer International Publishing, 2022). [www.doi.org/10.1007/978-3-031-12786-1_33](https://doi.org/10.1007/978-3-031-12786-1_33).
347. SEFIRA Project. FP7. CORDIS European Commission. Socio-economic implications for individual responses to Air Pollution Policies in EU +27. <https://cordis.europa.eu/project/id/603941> [21/03/2023].

348. Joint Research Centre. European Commission. Home page | Catalogue of Air Quality Measures. <https://aqm.jrc.ec.europa.eu/measure-catalogue/> [31/01/2023].
349. Clappier, A. et al. Source apportionment to support air quality management practices. Technical report by the Joint Research Centre (JRC). <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130562> (2022) [www.doi.org/10.2760/781626](https://doi.org/10.2760/781626).
350. Review of interventions to improve outdoor air quality and public health.
351. Lumbreras, J. & Borge, R. Las causas y el origen de la contaminación del aire en España. La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial 49–68 ISBN: 978-84-09-01905-2.
352. Khreis, H. et al. Urban policy interventions to reduce traffic-related emissions and air pollution: A systematic evidence map. *Environment International* 172, (2023) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2023.107805](https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107805).
353. European Parliament's Policy Department for Citizens' Rights and Constitutional Affairs. European Commission. Air Quality and urban traffic in the EU: best practices and possible solutions | Think Tank | European Parliament. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOC_STU\(2018\)604988](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOC_STU(2018)604988).
354. PTI Mobility. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Objetivo PTI Mobility 2030. <https://pti-mobility2030.csic.es/?lang=es> [22/05/2023].
355. Sofia, D., Gioiella, F., Lotrecchiano, N. & Giuliano, A. Mitigation strategies for reducing air pollution. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 19226–19235 (2020) [www.doi.org/10.1007/s11356-020-08647-x](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08647-x).
356. Querol, X. et al. Phenomenology of summer ozone episodes over the Madrid Metropolitan Area, central Spain. *Atmospheric Chemistry and Physics* 18, 6511–6533 (2018) [www.doi.org/10.5194/acp-18-6511-2018](https://doi.org/10.5194/acp-18-6511-2018).
357. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Workshop on Air Quality Policy Implementation related to Ozone. <https://www.miteco.gob.es/en/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/cursos-jornadas/Presentaciones-workshop-ozono.aspx> [02/04/2023].
358. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Bases Científico-Técnicas Para Mejorar la Calidad del Aire en España – Santander. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/cursos-jornadas/Presentaciones-curso-santander.aspx> [22/04/2023].
359. Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A. & Querol, X. Impact of harbour emissions on ambient PM10 and PM2.5 in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Science of the Total Environment* 571, 237–250 (2016) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.025](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.025).
360. Sorte, S., Rodrigues, V., Borrego, C. & Monteiro, A. Impact of harbour activities on local air quality: A review. *Environmental Pollution* 257, 113542 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113542](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113542).
361. Clark, P. Air Quality: An Emerging Issue in the Airport Industry. *Aviation / Aeronautics / Aerospace International Research Conference* (2014).
362. Monteiro, A., Russo, M., Gama, C. & Borrego, C. How important are maritime emissions for the air quality: At European and national scale. *Environmental Pollution* 242, 565–575 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.011](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.011).
363. Durán-Grados, V. et al. The Influence of Emissions from Maritime Transport on Air Quality in the Strait of Gibraltar (Spain). *Sustainability* 14, 12507 (2022) [www.doi.org/10.3390/su141912507](https://doi.org/10.3390/su141912507).
364. AIRUSE. LIFE11/ENV/ES/584. Testing and development of air quality mitigation measures in Southern Europe. Technical guide to reduce road dust emissions in southern Europe. Report 28 (2016).
365. Cordero, J. M., Hingorani, R., Jimenez-Relinque, E., Grande, M., Borge, R., Narros, A. & Castellote, M. NOx removal efficiency of urban photocatalytic pavements at pilot scale. *Science of the Total Environment* 719, (2020) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137459](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137459).
366. Cordero, J. M. et al. Challenges in quantification of photocatalytic NO2 abatement effectiveness under real world exposure conditions illustrated by a case study. *Science of the Total Environment* 766, (2021) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144393](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144393).
367. AIRUSE. LIFE11/ENV/ES/584. Testing and development of air quality mitigation measures in Southern Europe. Abatement of NOx emissions from vehicles. Report 22 (2016).
368. Oreggioni, G. D. et al. The impacts of technological changes and regulatory frameworks on global air pollutant emissions from the energy industry and road transport. *Energy Policy* 168, 113021 (2022) [www.doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113021](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113021).
369. Querol, X., Amato, F., Robusté, F., Holman, C. & Harrison, R. M. Chapter 11 – Non-technological Measures on Road Traffic to Abate Urban Air Pollution. Non-Exhaust Emissions (ed. Amato, F.) 229–260 (Academic Press, 2018). ISBN: 978-0-12-811770-5.
370. Congreso de los Diputados. 121/000136 Proyecto de Ley de Movilidad Sostenible. Boletín Oficial de las Cortes Generales (2023).
371. Querol, X. Alcance y propuestas de actuación de los planes de mejora de la calidad del aire. La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial. 147–164 (Fundación Gas Natural Fenosa, 2018). ISBN: 978-84-09-01905-2.
372. Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission). White paper on transport : roadmap to a single European transport area : towards a competitive and resource efficient transport system. (Publications Office of the European Union, 2011). ISBN: 978-92-79-18270-9.
373. Comisión Europea. Transport electrification (ELT) | TRIMIS. <http://trimis.ec.europa.eu/roadmaps/transport-electrification-elt> [22/05/2023].
374. Brdulak, A., Chaberek, G. & Jagodziński, J. Development Forecasts for the Zero-Emission Bus Fleet in Servicing Public Transport in Chosen EU Member Countries. *Energies* 13, 4239 (2020) [www.doi.org/10.3390/en13164239](https://doi.org/10.3390/en13164239).
375. Alessio, H. M. et al. Climate Change, Air Pollution, and Physical Inactivity: Is Active Transportation Part of the Solution? *Medicine and Science in Sports and Exercise* 53, 1170–1178 (2021) [www.doi.org/10.1249/MSS.0000000000002569](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002569).
376. Eiguren, J., Nieuwenhuijsen, M. J. & Rojas-Rueda, D. Premature mortality of 2050 high bike use scenarios in 17 countries. *Environmental Health Perspectives* 129, (2021) [www.doi.org/10.1289/EHP9073](https://doi.org/10.1289/EHP9073).
377. Mueller, N. et al. Health impact assessment of cycling network expansions in European cities. *Preventive Medicine* 109, 62–70 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.12.011](https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.12.011).
378. Braun, L. M. et al. Short-term planning and policy interventions to promote cycling in urban centers: Findings from a commute mode choice analysis in Barcelona, Spain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 89, 164–183 (2016) [www.doi.org/10.1016/j.tra.2016.05.007](https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.05.007).
379. Molinillo, S., Ruiz-Montañez, M. & Liébana-Cabanillas, F. User characteristics influencing use of a bicycle-sharing system integrated into an intermodal transport network in Spain. *International Journal of Sustainable Transportation* 14, 513–524 (2020) [www.doi.org/10.1080/15568318.2019.1576812](https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1576812).
380. Aguilera-García, A., Gomez, J. & Sobrino, N. Exploring the adoption of moped scooter-sharing systems in Spanish urban areas. *Cities* 96, 102424 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.cities.2019.102424](https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102424).
381. Goel, R. et al. Cycling behaviour in 17 countries across 6 continents: levels of cycling, who cycles, for what purpose, and how far? *Transport Reviews* 42, 58–81 (2022) [www.doi.org/10.1080/01441647.2021.1915898](https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1915898).
382. PTI Mobility 2030. NEXT4MOB project. Next generation tools for advanced mobility solutions. <https://pti-mobility2030.csic.es/next4mob-project-next-generation-tools-for-advanced-mobility-solutions/?lang=es> [22/05/2023].
383. Sobral, T., Galvão, T. & Borges, J. Visualization of Urban Mobility Data from Intelligent Transportation Systems. *Sensors* 19, 332 (2019) [www.doi.org/10.3390/s19020332](https://doi.org/10.3390/s19020332).
384. Papsyhev, G. & Yarime, M. Exploring city digital twins as policy tools: A task-based approach to generating synthetic data on urban mobility. *Data & Policy* 3, e16 (2021) [www.doi.org/10.1017/dap.2021.17](https://doi.org/10.1017/dap.2021.17).
385. PTI Mobility 2030. HPA4CF – Movilidad compartida. <https://pti-mobility2030.csic.es/project/hpa4cf-ridesharing/?lang=es> [22/05/2023].
386. Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C). Informe C: Inteligencia artificial y salud. (2022) [www.doi.org/10.57952/tcsx-b678](https://doi.org/10.57952/tcsx-b678).
387. Arcaute, E. & Ramasco, J. J. Recent advances in urban system science: Models and data. *PLoS ONE* 17, (2022) [www.doi.org/10.1371/journal.pone.0272863](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272863).
388. Bistaffa, F., Blum, C., Cerquides, J., Farinelli, A. & Rodríguez-Aguilar, J. A. A Computational Approach to Quantify the Benefits of Ridesharing for Policy Makers and Travellers. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 22, 119–130 (2021) [www.doi.org/10.1109/TITS.2019.2954982](https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2954982).
389. Caldarelli, G. et al. The role of complexity for digital twins of cities. *Nature Computational Science* 1–8 (2023) [www.doi.org/10.1038/s43588-023-00431-4](https://doi.org/10.1038/s43588-023-00431-4).
390. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Directrices para la creación de zonas de bajas emisiones (ZBE). (Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado, 2021). ISBN: 978-84-18508-73-8.
391. What are Low Emission Zones? Urban Access Regulations in Europe <https://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main/what-are-low-emission-zones> [27/02/2023].
392. Holman, C., Harrison, R. & Querol, X. Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. *Atmospheric Environment* 111, 161–169 (2015) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.009](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.009).
393. Gu, J. et al. Low emission zones reduced PM10 but not NO2 concentrations in Berlin and Munich, Germany. *Journal of Environmental Management* 302, 114048 (2022) [www.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114048](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114048).
394. Lurkin, V., Hambuckers, J. & van Woensel, T. Urban low emissions zones: A behavioral operations management perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 144, 222–240 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.tra.2020.11.015](https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.11.015).
395. Ares, E. & Butcher, L. Low Emission Zones. (2023).
396. Impact of Low Emission Zones. Urban Access Regulations in Europe <https://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main/impact-of-low-emission-zones> [27/02/2023].
397. Impacts of urban road tolls. Urban Access Regulations in Europe <https://urbanaccessregulations.eu/urban-road-charging-schemes/impacts-of-urban-road-charging> [27/02/2023].
398. Yang, X., McCoy, E., Hough, K. & de Nazelle, A. Evaluation of low traffic neighbourhood (LTN) impacts on NO2 and traffic. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 113, (2022) [www.doi.org/10.1016/j.tra.2022.103536](https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.103536).
399. Ferreira, F., Gomes, P., Tente, H., Carvalho, A. C., Pereira, P. & Monjardino, J. Air quality improvements following implementation of Lisbon's Low Emission Zone. *Atmospheric Environment* 122, 373–381 (2015) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.064](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.064).
400. Lebrusán, I. & Toutouh, J. Car restriction policies for better urban health: a low emission zone in Madrid, Spain. *Air Quality, Atmosphere & Health* 14, 333–342 (2021) [www.doi.org/10.1007/s11869-020-00938-z](https://doi.org/10.1007/s11869-020-00938-z).

401. Rodríguez-Rey, D. et al. To what extent the traffic restriction policies applied in Barcelona city can improve its air quality? *Science of The Total Environment* 807, 150743 (2022)
[www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150743](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150743).

402. Jiménez-Espada, M., García, F. M. M. & González-Escobar, R. Citizen Perception and Ex Ante Acceptance of a Low-Emission Zone Implementation in a Medium-Sized Spanish City. *Buildings* 13, 249 (2023)
[www.doi.org/10.3390/buildings13010249](https://doi.org/10.3390/buildings13010249).

403. Tarrío-Ortiz, J., Soria-Lara, J. A., Gómez, J. & Vassallo, J. M. Public Acceptability of Low Emission Zones: The Case of "Madrid Central". *Sustainability* 13, 3251 (2021)
[www.doi.org/10.3390/su13063251](https://doi.org/10.3390/su13063251).

404. Morton, C., Mattioli, G. & Anable, J. Public acceptability towards Low Emission Zones: The role of attitudes, norms, emotions, and trust. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 150, 256–270 (2021)
[www.doi.org/10.1016/j.tra.2021.06.007](https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.06.007).

405. Oltra, C., Sala, R., López-Asensio, S., Germán, S. & Boso, A. Individual-Level Determinants of the Public Acceptance of Policy Measures to Improve Urban Air Quality: The Case of the Barcelona Low Emission Zone. *Sustainability* 13, 1168 (2021)
[www.doi.org/10.3390/su13031168](https://doi.org/10.3390/su13031168).

406. Transport and Environment. City bans are spreading in Europe.
<https://www.transportenvironment.org/discover/city-bans-are-spreading-europe/> (2018).

407. What are Urban Road Tolls? Urban Access Regulations in Europe
<https://urbanaccessregulations.eu/urban-road-charging-schemes/what-are-urban-road-tolls> [27/02/2023].

408. London – CS. Urban Access Regulations in Europe
<https://urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147/united-kingdom-mainmenu-205/london-charging-scheme> [27/02/2023].

409. Stockholm – CS. Urban Access Regulations in Europe
<https://urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147/sweden-mainmenu-248/stockholm-charging-scheme> [27/02/2023].

410. Real Decreto 1052/2022, de 27 de diciembre, por el que se regulan las zonas de bajas emisiones. vol. BOE-A-2022-22689 185962-185981 (2022).

411. Transport and Environment. Propuesta de mínimos para la regulación de las Zonas de Bajas Emisiones. (2021).

412. Real Decreto 205/2021, de 30 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1085/2015, de 4 de diciembre, de fomento de los biocarburantes, y se regulan los objetivos de venta o consumo de biocarburantes para los años 2021 y 2022. vol. BOE-A-2021-5034 36554-36561 (2021).

413. Comisión Europea. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on type-approval of motor vehicles and engines and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, with respect to their emissions and battery durability (Euro 7) and repealing Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009. (2022).

414. Comisión Europea. La Comisión propone nuevas normas Euro 7. European Commission – European Commission
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_22_6495 [16/11/2023].

415. Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information (Text with EEA relevance). OJ L vol. 171 (2007).

416. Soret, A., Guevara, M. & Baldasano, J. M. The potential impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain). *Atmospheric Environment* 99, 51–63 (2014)
[www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.048](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.048).

417. ETC/ATNI Report 5/2020: Transport Non-exhaust PM-emissions. An overview of emission estimates, relevance, trends and policies.

<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-5-2020-transport-non-exhaust-pm-emissions-an-overview-of-emission-estimates-relevance-trends-and-policies>.

418. Grange, S. K. et al. Switzerland's PM10 and PM2.5 environmental increments show the importance of non-exhaust emissions. *Atmospheric Environment: X* 12, (2021)
[www.doi.org/10.1016/j.aea.2021.100145](https://doi.org/10.1016/j.aea.2021.100145).

419. AIRUSE. LIFE11/ENV/ES/584. Testing and development of air quality mitigation measures in Southern Europe. Report 18: Strategies to encourage the use of electric, hybrid and gas vehicles in Central and Northern Europe. http://airuse.eu/wp-content/uploads/2013/11/R18_AIRUSE-Encourage-clean-vehicles-CNE.pdf (2016).

420. Ajanovic, A. & Haas, R. Prospects and impediments for hydrogen and fuel cell vehicles in the transport sector. *International Journal of Hydrogen Energy* 46, 10049–10058 (2021)
[www.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.122](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.122).

421. C. Lewis, A. Optimising air quality co-benefits in a hydrogen economy: a case for hydrogen-specific standards for NO_x emissions. *Environmental Science: Atmospheres* 1, 201–207 (2021)
[www.doi.org/10.1039/D1EA00037C](https://doi.org/10.1039/D1EA00037C).

422. Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C). Informe C: Hidrógeno verde como combustible. (2022)
[www.doi.org/10.57952/87d5-vg85](https://doi.org/10.57952/87d5-vg85).

423. Hooftman, N., Messagie, M., Van Mierlo, J. & Coosemans, T. A review of the European passenger car regulations – Real driving emissions vs local air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 86, 1–21 (2018)
[www.doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012).

424. Benavides, J., Guevara, M., Snyder, M. G., Rodríguez-Rey, D., Soret, A., García-Pando, C. P. & Jorba, O. On the impact of excess diesel NO_x emissions upon NO₂ pollution in a compact city. *Environmental Research Letters* 16, (2021)
[www.doi.org/10.1088/1748-9326/abd5dd](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd5dd).

425. López-Aparicio, S., Hak, C., Sundvor, I. & Sundseth, K. Understanding Effects of Bioethanol Fuel Use on Urban Air Quality: An Integrative Approach. vol. 58 215–220 (2014).
[www.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.431](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.431).

426. Mofijur, M., Rasul, M. G., Hyde, J. & Bhuyia, M. M. K. Role of Biofuels on IC Engines Emission Reduction. *Energy Procedia* 75, 886–892 (2015)
[www.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.211](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.211).

427. Chang, W.-R., Hwang, J.-J. & Wu, W. Environmental impact and sustainability study on biofuels for transportation applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67, 277–288 (2017)
[www.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.020](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.020).

428. Tong, F. & Azevedo, I. M. L. What are the best combinations of fuel-vehicle technologies to mitigate climate change and air pollution effects across the United States? *Environmental Research Letters* 15, 074046 (2020)
[www.doi.org/10.1088/1748-9326/ab8a85](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8a85).

429. Dablan, L. & Montonen, A. Impacts of Environmental Access Restrictions on Freight Delivery Activities: Example of Low Emissions Zones in Europe. *Transportation Research Record* 2478, 12–18 (2015)
[www.doi.org/10.3141/2478-02](https://doi.org/10.3141/2478-02).

430. Holguín-Veras, J. et al. Direct impacts of off-hour deliveries on urban freight emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 61, 84–103 (2018)
[www.doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.013](https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.013).

431. Iungman, T. et al. Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. *The Lancet* 401, 577–589 (2023)
[www.doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5).

432. Nieuwenhuijsen, M. J. New urban models for more sustainable, liveable and healthier cities post covid19; reducing air pollution, noise and heat island effects and increasing green space and physical activity. *Environment International* 157, (2021)
[www.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106850](https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106850).

433. Nieuwenhuijsen, M. J. & Khreis, H. Car free cities: Pathway to healthy urban living. *Environment International* 94, 251–262 (2016)

[www.doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.032](https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.032).

434. Thondoo, M., Ramos, A., Mueller, N., Khomenko, S. & Nieuwenhuijsen, M. J. Chapter 19 – Health impact assessment: an innovative approach for 15-minute cities. *Resilient and Sustainable Cities* (eds. Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., Pralong, F. & Moreno, C.) 343–353 (Elsevier, 2023). ISBN: 978-0-323-91718-6.

435. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas.
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/infraestructura-verde/Infra_verde.aspx [17/03/2023].

436. Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. M., Muthukumar, S. & Perera, B. J. C. Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry & Urban Greening* 21, 34–47 (2017)
[www.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.007](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.007).

437. Kumar, P. et al. The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environment International* 133, 105181 (2019)
[www.doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181).

438. Barboza, E. P. et al. Green space and mortality in European cities: a health impact assessment study. *The Lancet Planetary Health* 5, e718–e730 (2021)
[www.doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00229-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00229-1).

439. Gómez-Moreno, F. J. et al. Urban vegetation and particle air pollution: Experimental campaigns in a traffic hotspot. *Environmental Pollution* 247, 195–205 (2019)
[www.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.016](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.016).

440. Santiago, J.-L. et al. Impact of Different Combinations of Green Infrastructure Elements on Traffic-Related Pollutant Concentrations in Urban Areas. *Forests* 13, (2022)
[www.doi.org/10.3390/f13081195](https://doi.org/10.3390/f13081195).

441. de la Paz, D. et al. Assessment of Air Quality and Meteorological Changes Induced by Future Vegetation in Madrid. *Forests* 13, (2022)
[www.doi.org/10.3390/f13050690](https://doi.org/10.3390/f13050690).

442. Paris ville du quart d'heure, ou le pari de la proximité. <https://www.paris.fr/dossiers/paris-ville-du-quart-d-heure-ou-le-pari-de-la-proximite-37> [27/04/2023].

443. Mueller, N. et al. Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment International* 134, 105132 (2020)
[www.doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132).

444. Concello de Pontevedra: Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado de Pontevedra.
<https://maismodelo.pontevedra.gal/wp-content/uploads/2019/03/Estrategia-urbana-definitiva-1.pdf> (2015).

445. Valderrama, N. M.-F. de, Luque-Valdivia, J. & Aseguinolaza-Braga, I. La ciudad del cuarto de hora, ¿una solución sostenible para la ciudad postCOVID-19? *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales* 52, 653–664 (2020)
[www.doi.org/10.37230/CyTET.2020.205.13.1](https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.205.13.1).

446. Gillingham, K. T., Huang, P., Buehler, C., Peccia, J. & Gentner, D. R. The climate and health benefits from intensive building energy efficiency improvements. *Science Advances* 7, eabg0947 (2021)
[www.doi.org/10.1126/sciadv.abg0947](https://doi.org/10.1126/sciadv.abg0947).

447. Tomlin, A. S. Air Quality and Climate Impacts of Biomass Use as an Energy Source: A Review. *Energy & Fuels* 35, 14213–14240 (2021)
[www.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01523](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01523).

448. Jaén, C., Villascas, P., Fernández, P., Grimalt, J. O., Udina, M., Bedia, C. & van Drooge, B. L. Source Apportionment and Toxicity of PM in Urban, Sub-Urban, and Rural Air Quality Network Stations in Catalonia. *Atmosphere* 12, 744 (2021)
[www.doi.org/10.3390/atmos12060744](https://doi.org/10.3390/atmos12060744).

449. Cincinelli, A., Guerranti, C., Martellini, T. & Scodellini, R. Residential wood combustion and its impact on urban air quality in Europe. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 8, 10–14 (2019)
[www.doi.org/10.1016/j.coesh.2018.12.007](https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.12.007).

450. Kukkonen, J. et al. The influence of residential wood combustion on the concentrations of PM_{2.5} in four Nordic cities. *Atmospheric Chemistry and Physics* 20, 4333–4365 (2020)
[www.doi.org/10.5194/acp-20-4333-2020](https://doi.org/10.5194/acp-20-4333-2020).

451. AIRUSE. LIFE11/ENV/ES/584. Testing and development of air quality mitigation measures in Southern Europe. Technical guide to reduce emissions from biomass burning. http://airuse.eu/wp-content/uploads/2013/11/R27_AIRUSE-TechGuide-biomass-burning-emissions-reduction.pdf (2017).
452. Orru, H. et al. Health impacts of PM2.5 originating from residential wood combustion in four nordic cities. *BMC Public Health* 22, (2022) [www.doi.org/10.1186/s12889-022-13622-x](https://doi.org/10.1186/s12889-022-13622-x).
453. Galán-Madruga, D., Ubeda, R. M., Terroba, J. M., dos Santos, S. G. & García-Camero, J. P. Influence of the products of biomass combustion processes on air quality and cancer risk assessment in rural environment (Spain). *Environmental Geochemistry and Health* 44, 2595–2613 (2022) [www.doi.org/10.1007/s10653-021-01052-4](https://doi.org/10.1007/s10653-021-01052-4).
454. Titos, G. et al. Spatial and temporal variability of carbonaceous aerosols: Assessing the impact of biomass burning in the urban environment. *Science of The Total Environment* 578, 613–625 (2017) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.007](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.007).
455. Pérez Pastor, R., Salvador, P., García Alonso, S., Alastuey, A., García dos Santos, S., Querol, X. & Artñano, B. Characterization of organic aerosol at a rural site influenced by olive waste biomass burning. *Chemosphere* 248, 125896 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125896](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125896).
456. Sánchez de la Campa, A. M. et al. Characterization of biomass burning from olive grove areas: A major source of organic aerosol in PM10 of Southwest Europe. *Atmospheric Research* 199, 1–13 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.07.032](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.07.032).
457. Paunu, V.-V. et al. Spatial distribution of residential wood combustion emissions in the Nordic countries: How well national inventories represent local emissions? *Atmospheric Environment* 264, (2021) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118712](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118712).
458. Heydon, J. Between Ordinary Harm and Deviance: Evaluating the UK's Regulatory Regime For Controlling Air Pollution From Wood Burning Stoves. *The British Journal of Criminology azac102* (2023) [www.doi.org/10.1093/bjc/azac102](https://doi.org/10.1093/bjc/azac102).
459. Lanzani, G. Milan and Lombardy: analysis and perspectives on air quality and the impact of wood burning. Pioneering better air quality in european cities <https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2019/05/4.-guido-lanzani-bruxelles-070519.pdf> (2019).
460. European Environment Agency. Spain – Industrial pollution profile 2020. <https://www.eea.europa.eu/themes/industry/industrial-pollution/industrial-pollution-country-profiles-2020/spain> [03/03/2023].
461. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Marco legislativo de la Prevención y el Control Integrados de la Contaminación, IPPC. <https://www.miteco.gob.es/gi/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-industrial/prevencion-y-control-integrados-de-la-contaminacion-ippc/ippc.aspx> [15/03/2023].
462. AIRUSE. LIFE11/ENV/ES/584. Testing and development of air quality mitigation measures in Southern Europe, X. Measures to reduce emissions from the industrial sector. http://airuse.eu/wp-content/uploads/2013/11/R26_AIRUSE-TechGuide-industrial-emissions-reduction.pdf (2017).
463. Barthe, P., Chaugny, M., Roudier, S. & Delgado, S. L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC94879> (2015) [www.doi.org/10.2791/010758](https://doi.org/10.2791/010758).
464. Black, M., Canova, M., Rydin, S., Scalet, B. M., Roudier, S. & Delgado, S. L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC83005> (2013) [www.doi.org/10.2788/13548](https://doi.org/10.2788/13548).
465. Brinkmann, T., Giner, S. G., Schorch, F., Roudier, S. & Delgado, S. L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Chlor-alkali. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC91156> (2014) [www.doi.org/10.2791/13138](https://doi.org/10.2791/13138).
466. European Commission. Joint Research Centre. Best Available Techniques (BAT) reference document for the production of large volume organic chemicals. Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/77304> (2017).
467. Garbarino, E., Orveillon, G., Saveyn, H., Barthe, P. & Eder, P. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries in accordance with Directive 2006/21/EC. Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109657> (2018) [www.doi.org/10.2760/35297](https://doi.org/10.2760/35297).
468. Giner, S. G., Georgitzikis, K., Scalet, B. M., Montobbio, P., Roudier, S. & Delgado, S. L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107189> (2017) [www.doi.org/10.2760/020485](https://doi.org/10.2760/020485).
469. OECD. Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution, Activity 4: Guidance Document on Determining BAT, BAT Associated Environmental Performance Levels and BAT-Based Permit Conditions. (2020).
470. Lecomte, T. et al. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107769> (2017) [www.doi.org/10.2760/949](https://doi.org/10.2760/949).
471. Remus, R., Aguado, M. M., Roudier, S. & Delgado, S. L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC69967> (2013) [www.doi.org/10.2791/98516](https://doi.org/10.2791/98516).
472. Scalet, B. M., Garcia, M. M., Sissa, A., Roudier, S. & Delgado, S. L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for: Manufacture of Glass: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC78091> (2013) [www.doi.org/10.2791/70161](https://doi.org/10.2791/70161).
473. Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Rodrigo, G. M., Giner, S. G., Roudier, S. & Delgado, S. L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Science and Policy report by the Joint Research Center. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC95678> (2015) [www.doi.org/10.2791/370629](https://doi.org/10.2791/370629).
474. Sánchez de la Campa, A. M., Sánchez-Rodas, D., Alsioufi, L., Alastuey, A., Querol, X. & de la Rosa, J. D. Air quality trends in an industrialised area of SW Spain. *Journal of Cleaner Production* 186, 465–474 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.122](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.122).
475. Millán-Martínez, M., Sánchez-Rodas, D., Sánchez de la Campa, A. M., Alastuey, A., Querol, X. & de la Rosa, J. D. Source contribution and origin of PM10 and arsenic in a complex industrial region (Huelva, SW Spain). *Environmental Pollution* 274, (2021) [www.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116268](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116268).
476. Monfort, D. E. Introducción a la problemática de las emisiones industriales. Bases científico técnicas para la mejora de la calidad del aire en España. Valencia, 11-13 de junio. <https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2019/05/1.-eliseo-monfort.pdf> (2019).
477. Escudero, M., Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Díez Hernández, P., García Dos Santos, S. & Anzano, J. Industrial sources of primary and secondary organic aerosols in two urban environments in Spain. *Environmental Science and Pollution Research* 22, 10413–10424 (2015) [www.doi.org/10.1007/s11356-015-4228-x](https://doi.org/10.1007/s11356-015-4228-x).
478. European Environment Agency. Pollution control in an industrial region: Province of Castellón, Spain. <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-air-quality-in-europe/pollution-control-in-an-industrial>.
479. Minguillón, M. C., Monfort, E., Querol, X., Alastuey, A., Celades, I. & Miró, J. V. Effect of ceramic industrial particulate emission control on key components of ambient PM10. *Journal of Environmental Management* 90, 2558–2567 (2009) [www.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.016](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.016).
480. United Nations Economic Commission for Europe. Framework code for good agricultural practice for reducing ammonia emissions. https://unece.org/sites/default/files/2021-06/Ammonia_SRI36_28-4_HR_O.pdf (2015).
481. European Environment Agency. Ammonia emissions from agriculture continue to pose problems for Europe. <https://www.eea.europa.eu/highlights/ammonia-emissions-from-agriculture-continue>.
482. UNECE. Guidance document on reduction of emissions from agricultural residue burning. eISBN: 978-92-1-002306-1 <https://unece.org/environment-policy/publications/guidance-document-reduction-emissions-agricultural-residue-burning> (2022).
483. Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Different Stages of Liquid Manure Management Chains: Abatement Options and Emission Interactions – Mohankumar Sajeev – 2018 – Journal of Environmental Quality – Wiley Online Library. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2017.05.0199> [15/03/2023].
484. Technical measure to abate agricultural ammonia emission in Flanders, Belgium – European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-air-quality-in-europe/technical-measure-to-abate-agricultural> [17/05/2023].
485. Giannakis, E., Kushta, J., Bruggeman, A. & Lelieveld, J. Costs and benefits of agricultural ammonia emission abatement options for compliance with European air quality regulations. *Environmental Sciences Europe* 31, 93 (2019) [www.doi.org/10.1186/s12302-019-0275-0](https://doi.org/10.1186/s12302-019-0275-0).
486. Ma, S. High-resolution assessment of ammonia emissions in China: Inventories, driving forces and mitigation. *Atmospheric Environment* 229, 117458 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117458](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117458).
487. Volta, M., Turrini, E., Carnevale, C., Valeri, E., Gatta, V., Polidori, P. & Maione, M. Co-benefits of changing diet. A modelling assessment at the regional scale integrating social acceptability, environmental and health impacts. *Science of The Total Environment* 756, 143708 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143708](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143708).

488. Backes, A. M., Aulinger, A., Bieser, J., Matthias, V. & Quante, M. Ammonia emissions in Europe, part II: How ammonia emission abatement strategies affect secondary aerosols. *Atmospheric Environment* 126, 153–161 (2016) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.039](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.039).
489. Chen, J. et al. A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China. *Science of The Total Environment* 579, 1000–1034 (2017) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.025](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.025).
490. He, C. et al. Characterisation of the impact of open biomass burning on urban air quality in Brisbane, Australia. *Environment International* 91, 230–242 (2016) [www.doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.030](https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.030).
491. Karanasiou, A. et al. Short-term health effects from outdoor exposure to biomass burning emissions: A review. *Science of The Total Environment* 781, 146739 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146739](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146739).
492. Salvi, S. & Barnes, P. J. Is Exposure to Biomass Smoke the Biggest Risk Factor for COPD Globally? *CHEST* 138, 3–6 (2010) [www.doi.org/10.1378/chest.10-0645](https://doi.org/10.1378/chest.10-0645).
493. Raza, M. H., Abid, M., Faisal, M., Yan, T., Akhtar, S. & Adnan, K. M. M. Environmental and Health Impacts of Crop Residue Burning: Scope of Sustainable Crop Residue Management Practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 4753 (2022) [www.doi.org/10.3390/ijerph19084753](https://doi.org/10.3390/ijerph19084753).
494. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Guidance document on reduction of emissions from agricultural residue burning. eISBN: 978-92-1-002306-1 https://unece.org/sites/default/files/2023-03/2226205_E_PDF_WEB_O_O.pdf (2022).
495. Linares, C., Carmona, R., Salvador, P. & Díaz, J. Impact on mortality of biomass combustion from wildfires in Spain: A regional analysis. *Science of The Total Environment* 622–623, 547–555 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.321](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.321).
496. Viana, M. et al. Tracers and impact of open burning of rice straw residues on PM in Eastern Spain. *Atmospheric Environment* 42, 1941–1957 (2008) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.012](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.012).
497. Dambruoso, P., de Gennaro, G., Di Gilio, A., Palmisani, J. & Tutino, M. The impact of infield biomass burning on PM levels and its chemical composition. *Environmental Science and Pollution Research* 21, 13175–13185 (2014) [www.doi.org/10.1007/s11356-013-2384-4](https://doi.org/10.1007/s11356-013-2384-4).
498. Pérez-Pastor, R., Salvador, P., García-Gómez, H., García-Alonso, S., Toro, M., Artífano, B. & Alonso, R. Characterization of organic aerosols at the Natura 2000 remote environment of Sanabria Lake (Spain): Evaluating the influence of African dust and regional biomass burning smoke. *Atmospheric Environment* 298, (2023) [www.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119634](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119634).
499. World Bank Group. Agricultural Pollution. Field Burning. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29504?locale-attribute=en> (2018).
500. Schneider, S. R. & Abbatt, J. P. D. Wildfire atmospheric chemistry: climate and air quality impacts. *Trends in Chemistry* 4, 255–257 (2022) [www.doi.org/10.1016/j.trechm.2021.12.004](https://doi.org/10.1016/j.trechm.2021.12.004).
501. Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados. Informe C: Incendios forestales y restauración de zonas quemadas. (2023) [www.doi.org/10.57952/w67p-j094](https://doi.org/10.57952/w67p-j094).
502. Oliveira, K., Guevara, M., Jorba, O., Querol, X. & García-Pando, C. P. A new NMVOC speciated inventory for a reactivity-based approach to support ozone control strategies in Spain. *Science of The Total Environment* 867, 161449 (2023) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161449](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161449).
503. Wiesen, M. & Ciceu, I. Agricultural and Garden Waste Burning Legislation in European Countries. *Clean Air Action Group (CAAG)* (2018).
504. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. (2022).
505. Ley 30/2022, de 23 de diciembre, por la que se regulan el sistema de gestión de la Política Agrícola Común y otras materias conexas. (2022).
506. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico Secretaría General Técnica. Inventory Informative Report (on Pollutant Emissions). (2022).
507. Jaffe, D. A., O'Neill, S. M., Larkin, N. K., Holder, A. L., Peterson, D. L., Halofsky, J. E. & Rappold, A. G. Wildfire and prescribed burning impacts on air quality in the United States. *Journal of the Air & Waste Management Association* 70, 583–615 (2020) [www.doi.org/10.1080/10962247.2020.1749731](https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1749731).
508. Zhou, Y., Zhang, Y., Zhao, B., Lang, J., Xia, X., Chen, D. & Cheng, S. Estimating air pollutant emissions from crop residue open burning through a calculation of open burning proportion based on satellite-derived fire radiative energy. *Environmental Pollution* 286, 117477 (2021) [www.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117477](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117477).
509. Kelly, F. J. & Fussell, J. C. Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environmental Geochemistry and Health* 37, 631–649 (2015) [www.doi.org/10.1007/s10653-015-9720-1](https://doi.org/10.1007/s10653-015-9720-1).
510. Sala, R., Oltra, C. & Gonçalves, L. Attitudes towards urban air pollution: A Q methodology study. *Psychology* 6, 359–385 (2015) [www.doi.org/10.1080/21711976.2015.1041293](https://doi.org/10.1080/21711976.2015.1041293).
511. World Health Organization. Risk communication of ambient air pollution in the WHO European Region: review of air quality indexes and lessons learned. WHO/EURO:2023-6885-46651-67825 <https://www.who.int/publications-detail-redirect/WHO-EURO-2023-6885-46651-67825> (2023).
512. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Índice de Calidad del Aire. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/ICA.aspx> [21/03/2023].
513. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). Visor de Calidad del Aire. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/visor/default.aspx> [21/03/2023].
514. McCarron, A., Semple, S., Braban, C. F., Swanson, V., Gillespie, C. & Price, H. D. Public engagement with air quality data: using health behaviour change theory to support exposure-minimising behaviours. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 1–11 (2022) [www.doi.org/10.1038/s41370-022-00449-2](https://doi.org/10.1038/s41370-022-00449-2).
515. World Health Organization. Personal interventions and risk communication on Air Pollution. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240000278> (2019).
516. Oltra, C. & Sala, R. Perception of risk from air pollution and reported behaviors: a cross-sectional survey study in four cities. *Journal of Risk Research* 21, 869–884 (2018) [www.doi.org/10.1080/13669877.2016.1264446](https://doi.org/10.1080/13669877.2016.1264446).
517. D'Antoni, D., Smith, L., Auyeung, V. & Weinman, J. Psychosocial and demographic predictors of adherence and non-adherence to health advice accompanying air quality warning systems: a systematic review. *Environmental Health* 16, 100 (2017) [www.doi.org/10.1186/s12940-017-0307-4](https://doi.org/10.1186/s12940-017-0307-4).
518. Chiarini, B., D'Agostino, A., Marzano, E. & Regoli, A. The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across European countries. *Journal of Environmental Management* 263, 110272 (2020) [www.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110272](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110272).
519. Imperial College London. Reducing air pollution: how can changing behaviours help? *Imperial News* <https://www.imperial.ac.uk/news/230817/reducing-pollution-changing-behaviours-help/> [21/03/2023].
520. National Bureau of Economic Research (NBER). Behavioral Changes Triggered by Information about Pollution. NBER <https://www.nber.org/digest/feb20/behavioral-changes-triggered-information-about-pollution> [21/03/2023].
521. Hanna, R., Hoffmann, B., Oliva, P. & Schneider, J. The Power of Perception: Limitations of Information in Reducing Air Pollution Exposure. *Inter-American Development Bank* (2021) [www.doi.org/10.18235/OO03392](https://doi.org/10.18235/OO03392).
522. Oltra, C., Sala, R., Boso, À. & Asensio, S. L. Public engagement on urban air pollution: an exploratory study of two interventions. *Environmental Monitoring and Assessment* 189, (2017) [www.doi.org/10.1007/s10661-017-6011-6](https://doi.org/10.1007/s10661-017-6011-6).
523. Perelló, J. et al. Large-scale citizen science provides high-resolution nitrogen dioxide values and health impact while enhancing community knowledge and collective action. *Science of The Total Environment* 789, (2021) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147750](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147750).
524. Gignac, F. et al. Co-creating a local environmental epidemiology study: the case of citizen science for investigating air pollution and related health risks in Barcelona, Spain. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 21, (2022) [www.doi.org/10.1186/s12940-021-00826-8](https://doi.org/10.1186/s12940-021-00826-8).
525. López-Aparicio, S., Vogt, M., Schneider, P., Kahila-Tani, M. & Broberg, A. Public participation GIS for improving wood burning emissions from residential heating and urban environmental management. *Journal of Environmental Management* 191, 179–188 (2017) [www.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.018](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.018).
526. CAPTOR project. <https://www.captor-project.eu/es/es-project/> [19/05/2023].
527. European Network of Living Labs. <https://enoll.org/about-us/what-are-living-labs/> [18/05/2023].
528. iSCAPE Project. *CORDIS*. European Commission. Living Labs engage citizens in urban air quality improvements. <https://cordis.europa.eu/article/id/300422-living-labs-engage-citizens-in-urban-air-quality-improvements> [18/05/2023].
529. Hubbell, B. J. et al. Understanding social and behavioral drivers and impacts of air quality sensor use. *Science of The Total Environment* 621, 886–894 (2018) [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.275](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.275).
530. Grosseberndt, S., Schneider, P., Liu, H.-Y., Fredriksen, M. F., Castell, N., Syropoulou, P. & Bartoňová, A. Public perception of urban air quality using volunteered geographic information services. *Urban Planning* 5, 45–58 (2020) [www.doi.org/10.17645/up.v5i4.3165](https://doi.org/10.17645/up.v5i4.3165).