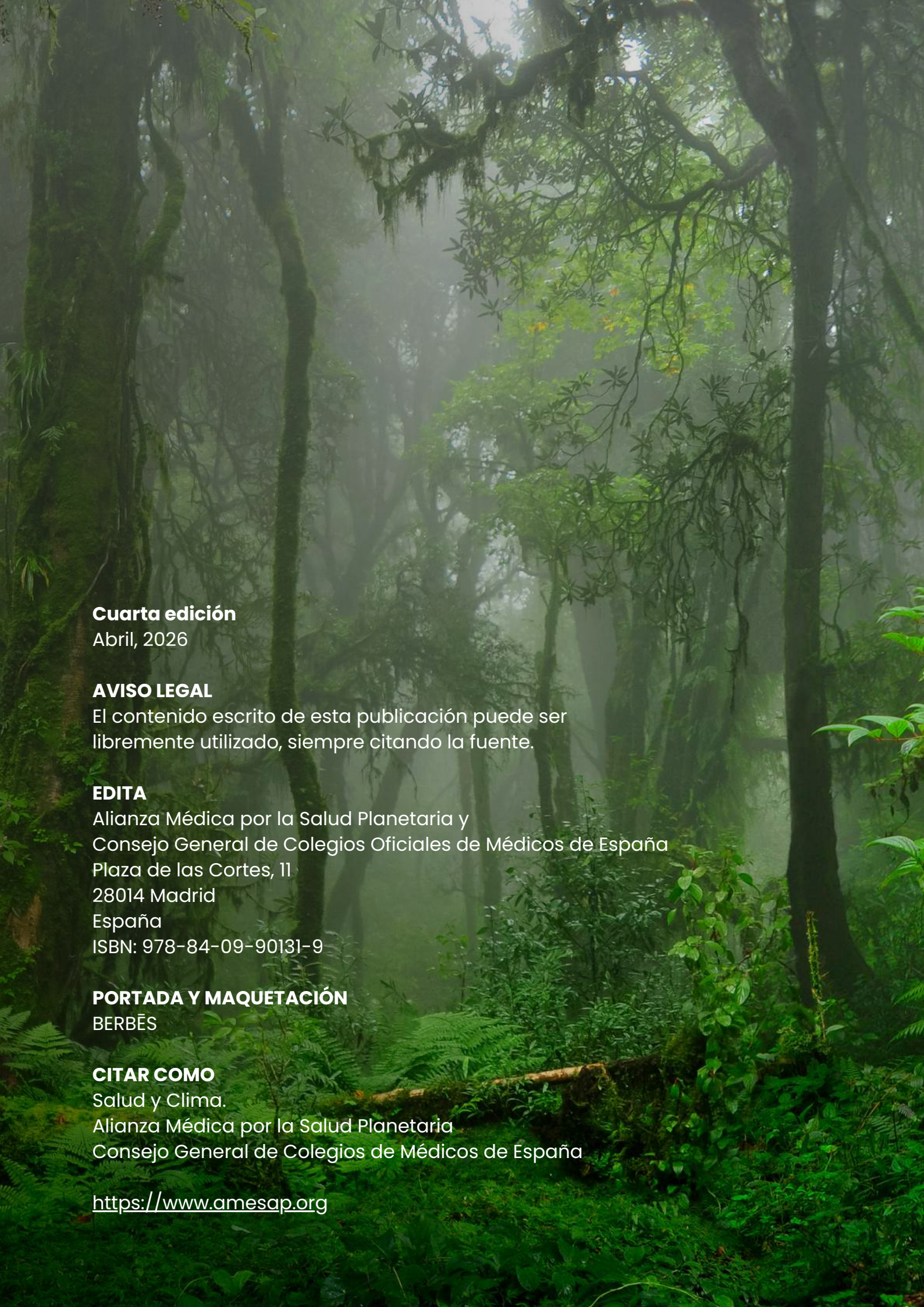
SALUD Y CLIMA

2026

4ª edición

ALIANZA MÉDICA
POR LA SALUD PLANETARIA



Cuarta edición
Abril, 2026

AVISO LEGAL
El contenido escrito de esta publicación puede ser libremente utilizado, siempre citando la fuente.

EDITA
Alianza Médica por la Salud Planetaria y
Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos de España
Plaza de las Cortes, 11
28014 Madrid
España
ISBN: 978-84-09-90131-9

PORTADA Y MAQUETACIÓN
BERBĒS

CITAR COMO
Salud y Clima.
Alianza Médica por la Salud Planetaria
Consejo General de Colegios de Médicos de España

https://www.amesap.org

SOCIEDADES CIENTÍFICAS MÉDICAS ADHERIDAS A LA AMESAP

seaic

SEDAR
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ANESTESIOLOGÍA, REANIMACIÓN Y TERAPÉUTICA DEL DOLOR

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CARDIOLOGÍA | FUNDACIÓN ESPAÑOLA DEL CORAZÓN

AEDV ACADEMIA ESPAÑOLA DE DERMATOLOGÍA Y VENEREOLOGÍA

SEEN
Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición

AEG
Asociación Española de Gastroenterología

SEED
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ENDOSCOPIA DIGESTIVA

sedisa
sociedad española de directivos de la salud

semlab
Sociedad Española de Medicina de Laboratorio

semFYC
Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria

SEMERGEN
Sociedad Española de Médicos de Atención Primaria

SEMG
Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia

SEMI
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MEDICINA INTERNA
La visión global de la persona enferma

Sociedad Española
Medicina Preventiva, Salud Pública y Gestión Sanitaria

seimc
Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica

Sociedad Española de Nefrología

Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica
SEPAR

SEGO
Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia

SEOM
Sociedad Española de Oncología Médica

SEOR
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ONCOLOGÍA RADIOTERÁPICA

aep
Asociación Española de Pediatría

SEPSM

seram
Sociedad Española de Radiología Médica

SEMES
Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias

GETECCU
Grupo Español de Trabajo en Enfermedad de Crohn y Colitis Ulcerosa

COLEGIOS OFICIALES DE MÉDICOS ASOCIADOS

OMC ORGANIZACIÓN MÉDICA COLEGIAL DE ESPAÑA | CONSEJO GENERAL DE COLEGIOS OFICIALES DE MÉDICOS

COM A Coruña

COM Álava

COM Albacete

COM Alicante

COM Asturias

COM Baleares

COM Barcelona

COM Bizkaia

COM Cádiz

COM Cantabria

COM Ciudad Real

COM Córdoba

COM Cuenca

COM Gipuzkoa

COM Jaén

COM Las Palmas

COM La Rioja

COM Lleida

COM Lugo

COM Navarra

COM Ourense

COM Pontevedra

COM Soria

COM Tarragona

COM Toledo

COM Valencia

COM Zaragoza

ASOCIADOS A

PLANETARY HEALTH ALLIANCE

GLOBAL CLIMATE & HEALTH ALLIANCE

ATACH
Alliance for Transformative Action on Climate and Health
WHO hosted network

UEMS
EUROPEAN UNION OF MEDICAL SPECIALISTS
Thematic federation for green and sustainable medical practice

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Abreviaturas 07

Glosario de términos 08

Prólogo 13

Introducción 15

Capítulo I 20

Repercusiones del cambio climático sobre la salud humana

Capítulo II 40

La calidad del aire y la salud

Capítulo III 58

Repercusiones de la actividad sanitaria sobre el cambio climático

Capítulo IV 76

La transición energética como intervención de salud pública

ABREVIATURAS

AMESAP	Alianza Médica por la Salud Planetaria
BAI	Breath Actuated Inhalers
CGCOM	Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos
CMCCC	Compromiso Médico contra el Cambio Climático
COM	Colegios Oficiales de Médicos
COP	Conferencia de las partes
CONAMA	Congreso Nacional de Medio Ambiente
CS	Centro de Salud
DPI	Dry Powder Inhaler
ECV	Enfermedad cardiovascular
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
ERC	Enfermedad renal crónica
ERO	Especies reactivas de oxígeno
FGe	Filtrado glomerular estimado
GBD	Global Burden of Diseases
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIRFT	Getting It Right First Time
GWP	Global Warming Potential
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
IAM	Infarto agudo de miocardio
ICA	Índice de calidad del aire
IDH	Índice de desarrollo humano
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
$ktCO_2eq$	Equivalente a kilo-toneladas de CO_2
LES	Lupus eritematoso sistémico
LRA	Lesión renal aguda
MAC	Minimum Alveolar Concentration
MITECO	Ministerio de Transición Ecológica
MITERD	Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico
MSAN	Ministerio de Sanidad
NHS	National Health Service
NICE	National institute for Health and Care Excellence
NIHR	National Institute for Health Research
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
OECC	Oficina Española del Cambio Climático
OMS	Organización Mundial de la Salud
OSCC	Observatorio de Salud y Cambio Climático
PESMA	Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente
PGEI	Protocolo de Gases de Efecto Invernadero
$PM_{2,5}$	Material particulado de diámetro inferior a 2,5 µm
PM_{10}	Material particulado de diámetro inferior a 10 µm
pMDI	Pressure Metered Dose Inhaler
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
SAP	Sociedad Americana de Psiquiatría
SCM	Sociedades Científicas Médicas
SMI	Soft Mist Inhaler
SNS	Sistema Nacional de Salud

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acidificación del mar	Disminución del pH del mar por excesiva absorción de CO_2 atmosférico.
Acuerdo de París	Acuerdo internacional de 2015 en el seno de la COP 21, para limitar el calentamiento global.
Adaptación al cambio climático	Conjunto de medidas para resistir los efectos del cambio climático. Incluye, entre otras, medidas arquitectónicas y urbanísticas.
Agenda 2030	Establece el cronograma aconsejado para cumplir los ODS.
Antropogénico	De origen humano.
Calentamiento global	Se refiere al calentamiento progresivo del planeta por la actividad humana. Especialmente por la quema de combustibles fósiles.
Cambio climático	Cambio en el patrón climático terrestre que afecta a la frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales. Actualmente, se acepta que se ha producido en un tiempo demasiado corto por la actividad humana (antropogénico).
Clima y tiempo	Se entiende por clima las condiciones meteorológicas de un lugar determinado consideradas normales por su frecuencia a lo largo de muchos años. Mientras que se entiende por tiempo las condiciones atmosféricas en un momento y lugar concreto.
CO_2 equivalente (CO_2 eq.)	Se refiere al poder de calentamiento global de un gas de efecto invernadero en relación al del CO_2.
Combustibles fósiles	Son: el carbón, los derivados del petróleo y el metano (gas natural). Se consideran fuentes de energía no renovable.
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Sustancias químicas, en forma de gas, compuestas de carbono que se liberan tras la quema de combustibles fósiles y están presentes en disolventes y pinturas. Por ejemplo, el benceno y el formaldehído. En su mayoría, entrañan peligro sanitario mediante inhalación.

Contaminación del aire	Presencia de sustancias nocivas en el aire. A veces se utiliza como sinónimo de polución, pero este último término es más amplio y, además, afecta al suelo y al agua.
Conferencia de las partes (COP)	Reunión de los países signatarios del acuerdo marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático.
Descarbonización	Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente CO_2.
Dióxido de azufre (SO_2)	Gas incoloro, con olor característico del azufre, gran irritante de piel y mucosas. Se disuelve en agua, acidificándola, y produce lluvia ácida.
Dióxido de carbono (CO_2)	Cuantitativamente es el principal gas de efecto invernadero y el patrón por el que se mide la potencia de otros gases. Imprescindible para el metabolismo vegetal y de bacterias. Su concentración en la atmósfera se ha incrementado de forma desproporcionada desde la revolución industrial. Su incremento causa acidificación del mar.
Efecto invernadero	Fenómeno que se refiere a la dificultad que tiene el planeta para desprenderse del calor inducido por la radiación solar. Motivado por una barrera de gases acumulados en la troposfera que actúan como el techo de los invernaderos, rebotando ese calor de nuevo hacia la superficie terrestre.
Emisiones atmosféricas	Se refiere al conjunto de gases y partículas liberadas al aire que son capaces de alterar el clima.
Energías renovables	Fuentes energéticas no contaminantes. Las tres principales son: solar, eólica e hidráulica. Otras: geotérmica, mareomotriz, undimotriz y biocombustibles
Eutrofización	Fenómeno que afecta tanto a aguas continentales como marinas por un excesivo aporte de nutrientes que provoca una proliferación bacteriana superficial, impidiendo el paso de la luz solar y, por tanto, la vida subacuática. Fenómeno vulgarmente conocido como “sopa verde”.

Gases de efecto invernadero (GEI)	Son gases que, acumulados en la troposfera, dificultan que el planeta se desprenda del calor secundario a la radiación solar. Son la causa principal del calentamiento global. Los principales son: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y los gases fluoro-carbonados (HFC).
Greenwashing	Información maliciosa de empresas u organizaciones para aparentar ser sostenibles mientras encubren prácticas agresivas con el medioambiente. Sinónimo de ecolavado.
Huella de carbono	Es el indicador ambiental que valora las emisiones de gases de efecto invernadero. Se puede aplicar a personas, transportes, organizaciones, eventos o productos concretos. Su unidad es el CO_2 equivalente.
Índice de calidad del aire (ICA)	Es un sistema para medir la pureza o contaminación del aire. Emplea niveles de concentración. Se expresa, a veces, con un código de colores que se relaciona con su toxicidad. Mide principalmente: gases (O_3, SO_2, CO, NO_2) y material particulado fino ($PM_{2,5}$ y PM_{10})
Justicia climática	Se refiere a que el daño del cambio climático es desproporcionado e injusto. Sus consecuencias se deben arbitrar con principios éticos. Porque los que menos lo sufren son las sociedades que lo originan y los que más lo padecen las sociedades con menos emisiones, más empobrecidas y vulnerables.
Lluvia ácida	Agua de lluvia contaminada por emisiones industriales (SO_2, NO_X)
Material particulado (PM)	Micropartículas suspendidas en el aire, líquidas o sólidas. Las más perjudiciales para la salud son las derivadas de la quema de combustibles fósiles con diámetro <2,5 µm ($PM_{2,5}$) que forman parte del smog y el hollín y causan enfermedad respiratoria y vascular.

Mitigación del cambio climático	Acción de reducir o evitar las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el calentamiento global.
Monóxido de carbono (CO)	Gas incoloro e inodoro que bloquea la hemoglobina y puede ser mortal en altas concentraciones. Se produce por la quema incompleta de los combustibles fósiles.
Neutralidad de carbono	Concepto equivalente al término anglo "Net Zero". Se refiere al equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero generadas y las que se eliminan de la atmósfera.
Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)	Constituyen 17 planes de acción para el desarrollo humano, entre ellos, erradicar la pobreza, el hambre y el derecho a la salud. Surgen de la Asamblea General de la ONU en 2015. Simbolizado con un círculo de 17 colores.
One Health	Concepto que integra la interdependencia de diferentes ámbitos y ecosistemas: humano, animal y vegetal.
Óxidos de nitrógeno (NO_x)	Diferentes moléculas binarias compuestas de N y O_2. Procedentes de combustiones de fósiles. Los más tóxicos son el NO y el NO_2.
Ozono troposférico (O_3)	Gas contaminante, secundario a reacciones fotoquímicas, que afecta a la salud humana. Sin embargo, el ozono estratosférico tiene un papel protector del planeta por filtrar la radiación ultravioleta solar.
Protocolo de Kioto	Acuerdo internacional para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un porcentaje determinado respecto a niveles de referencia de 1990.
Protocolo de GEI	Publicado en 2001, establece un estándar común que permite a gobiernos y empresas medir y gestionar sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Resiliencia climática	Concepto que implica anticiparse a riesgos, reducir vulnerabilidades y mantener el funcionamiento de las organizaciones ante eventos climáticos extremos.
Smog	Especie de niebla originada por la luz solar sobre una amalgama de gases y partículas contaminantes que reduce la visibilidad y causa daño respiratorio y medioambiental. Resultado de las emisiones de vehículos e industrias.
Sostenibilidad	Uso responsable de los recursos naturales para preservar el medioambiente a largo plazo.
Sumidero de carbono	Recurso para la captación y eliminación del CO_2 atmosférico. Los principales son los bosques y los océanos a través del proceso de fotosíntesis.
Transición energética	Proceso de cambiar fuentes de energía contaminante, especialmente ligadas a combustibles fósiles, por fuentes de energía renovable.
Troposfera	Capa de la atmósfera más próxima a la superficie de planeta. Tiene una altura aproximada de 9km en los polos y 12km en el ecuador.
Vectores	Pequeños animales invertebrados capaces de transmitir enfermedades al ser humano. Principalmente, mosquitos y garrapatas.

PRÓLOGO

Salud y Clima es una monografía que nace en colaboración con la Alianza Médica por la Salud Planetaria (AMESAP) y responde, de forma directa, al compromiso estatutario de la Organización Médica Colegial con la mejora permanente del conocimiento científico y la protección de la salud de la población. Este documento se inscribe, por tanto, en el núcleo mismo de la misión de nuestra corporación: promover una medicina de calidad, basada en la evidencia y orientada al bienestar de todos los ciudadanos.

La crisis climática y la degradación ambiental constituyen hoy una de las mayores amenazas para la salud humana. No se trata ya de una hipótesis ni de un debate abierto: la evidencia científica acumulada es sólida, concluyente y urgente. Sus efectos —desde el aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares hasta el impacto sobre la salud mental o la expansión de enfermedades infecciosas— exigen una respuesta decidida del conjunto de la profesión médica.

Conscientes de esta responsabilidad, la Comisión de Deontología y Ética Médica de la OMC ha analizado las obligaciones éticas del médico ante los retos medioambientales.

Dr. Tomás Cobo Castro

Presidente del Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos (CGCOM)

Fruto de este trabajo, y en consonancia con las aportaciones de AMESAP, se establecen recomendaciones que abarcan ámbitos clave del ejercicio profesional: la promoción de la salud, la investigación, la formación médico-ambiental, la sostenibilidad del sistema sanitario y la acción colegial.

Integrar el consejo médico ambiental en la práctica clínica no es una opción, sino una exigencia ética y profesional. Supone incorporar una visión preventiva, anticiparse a los riesgos y contribuir, desde la consulta y desde las instituciones, a proteger la salud de las generaciones presentes y futuras.

En esta cuarta edición, Salud y Clima ofrece al médico un instrumento sólido, riguroso y actualizado para afrontar este desafío global. Un recurso que refuerza el papel de la profesión médica como agente clave en la defensa de la salud pública y que responde, con evidencia y compromiso, a lo que la Organización Mundial de la Salud ya considera el mayor reto sanitario del siglo XXI.

INTRODUCCIÓN

Los riesgos medioambientales, prioritariamente la calidad del aire y el cambio climático, constituyen una grave amenaza para el planeta y, especialmente, para la salud humana. El medioambiente ha estado en las prioridades de muchos gobiernos y medios de comunicación desde 1997, tras el Protocolo de Kioto, y el posterior impulso que supuso en 2015 el Acuerdo de París; sin embargo, su impacto sobre la salud humana pasaba desapercibido en la mayoría de los foros.

No fue hasta el inicio de esta década, en 2021, cuando se comenzó a valorar su repercusión sanitaria. Dos publicaciones se situaron en este punto de partida, el documento de la OMS "La salud como argumento para la acción climática" [1] y la editorial conjunta de un centenar de publicaciones médicas bajo el título "*Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity, and protect health*" [2]. A partir de entonces, el conjunto salud/medioambiente se ha asentado como una combinación indisoluble avalada por una ingente producción científica.

El riesgo sanitario que suponen las agresiones medioambientales obliga a los profesionales de la salud a tomar conciencia de la magnitud del problema, hasta el punto que han de afrontarlo como una tarea cotidiana dentro de la medicina preventiva. Tal es así, que tanto la Comisión Nacional de Deontología Médica como la Asamblea Médica Mundial afrontan la crisis climática y la polución ambiental como un riesgo sanitario que los médicos han de afrontar como una obligación ética[3].

La Alianza Médica por la Salud Planetaria (AMESAP) aúna los dos pilares básicos de la profesión médica. Por una parte, el ejercicio propio del acto médico, regulado por los Colegios Oficiales de Médicos y, por otra parte, el soporte científico de sus decisiones a través de las Sociedades Científicas Médicas. A día de hoy, medio centenar de estas organizaciones constituyen la AMESAP. Todas ellas con el compromiso de divulgar y formar a sus asociados en salud y medioambiente.

Esta publicación afronta el objetivo básico de concienciar a los médicos y fomentar liderazgos que encaren los impactos de las agresiones medioambientales sobre la salud y sobre el sistema sanitario, proporcionándoles los conocimientos necesarios para enfrentar el escepticismo, la desinformación y el descrédito de las instituciones tan presentes en un mundo digital impregnado de intereses comerciales.

Según el Informe Anual del Sistema Nacional de Salud 2023 del Ministerio de Sanidad, en España, cada día, se dan más de un millón de consejos médicos, 700.000 de ellos en Atención Primaria. Además, el consejo médico tiene el valor añadido de su credibilidad y alto seguimiento lo que, sin duda, supone un valioso recurso de cara a la concienciación ciudadana sobre la crisis climática [4-6].

Por otra parte, este documento analiza el papel del sistema sanitario como agresor medioambiental y propone acciones concretas para mitigar su agresión.

La AMESAP, siendo una organización médica, no solo está al servicio de los médicos sino al conjunto de la sociedad y la mayoría de sus acciones, incluyendo esta publicación, pueden ser útiles a cualquier otro profesional sanitario.

Entendemos al mundo sanitario en su complejidad, no solo desde el punto de vista asistencial. En la AMESAP somos conscientes de la necesidad de trabajar junto a otras actividades sanitarias que engloban, entre otros: cuerpos directivos, ingeniería hospitalaria, industria farmacéutica y de equipamientos sanitarios. Asimismo, desarrollamos nuestras actividades integradas en la filosofía One Health en conjunto con otros sectores no estrictamente sanitarios.

Es más, la AMESAP es una organización proactiva que, a través de proyectos propios de resultados medibles, aspira a estar donde se toman las decisiones medioambientales, en relación directa con los ministerios de Sanidad y de Transición Ecológica, las consejerías de sanidad de las comunidades autónomas y la administración municipal. En este sentido nos mueve el interés de aunar esfuerzos dispersos aportando la voz unitaria de la profesión médica española.

Referencias

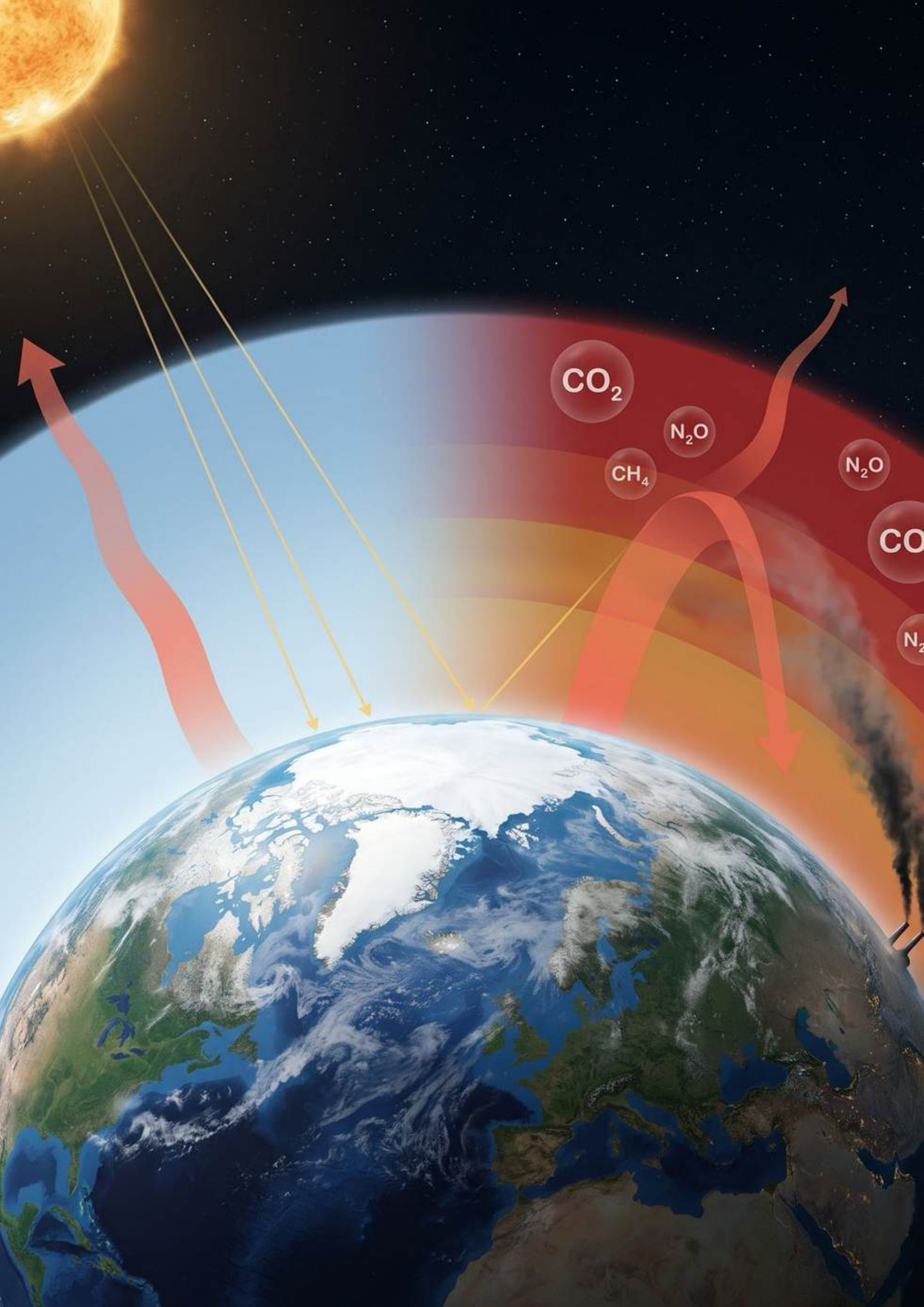
1.World Health Organization. COP26 special report on climate change and health: the health argument for climate action. Geneva: WHO; 2021. https://iris.who.int/handle/10665/346168

2.Atwoli L, Baqui AH, Benfield T, et al. Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity, and protect health. N Engl J Med. 2021;385(12):1134–1137. doi:10.1056/NEJMe2113200. https://www.cgcom.es/sites/main/files/files/2023-09/CCD_informe_etica_doneotlogia_salud_medioambiental_y_cambio_climatico.pdf

3.Peters E, Boyd P, Cameron LD, et al. Evidence-based recommendations for communicating the impacts of climate change on health. Transl Behav Med 2022; 12: 543-53.

4.Kotcher J, Patel L, et al. How to communicate about climate change with patients. BMJ 2024;385:e0798317

5.Renee N. Salas. The climate crisis and clinical practice. N Engl J Med 2022: 382;589-91.


CO_2
N_2O
CH_4
N_2O
CO

CAPÍTULO I

Repercusiones del cambio climático sobre la salud humana

1.Introducción

El cambio climático y la contaminación atmosférica representan dos de las amenazas ambientales más relevantes para la salud pública en el siglo XXI [1, 2]. La concepción que los trataba como problemas separados ha quedado obsoleta: ambos fenómenos comparten en gran medida una misma causa, la extracción, procesamiento y combustión de combustibles fósiles [3, 4].

El calentamiento global, ocasionado por el aumento de los gases de efecto invernadero, tiene en los combustibles fósiles su principal causa. Más del 70% de los gases de efecto invernadero mundiales provienen de la combustión de carbón, gas y derivados del petróleo (gasolina, diésel y queroseno), aunque estimaciones más recientes elevan esa proporción hasta cerca del 80%[5]. El resto se atribuye principalmente a la agricultura, los cambios de uso de la tierra y la deforestación (figura 1).

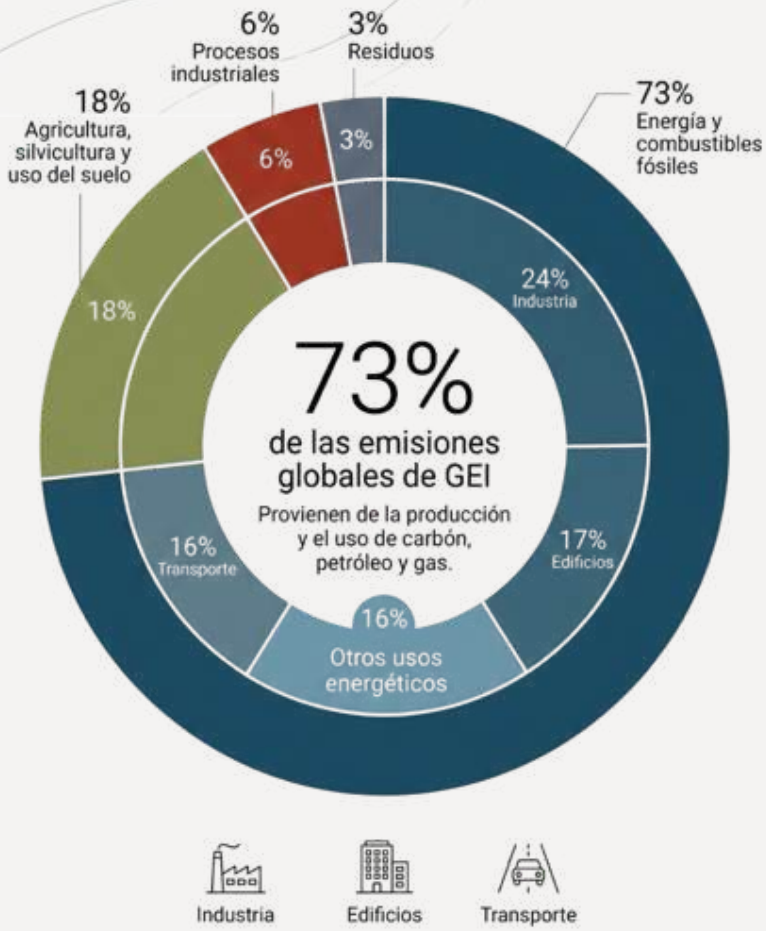


Figura 1. Proporción de la producción de gases de efecto invernadero.

El aumento del CO_2 atmosférico se ha incrementado un 11,4% en solamente 20 años, aumentando en más de 2 ppm anuales desde hace al menos 10 años, con una subida desde las 330 ppm a las 428 ppm en aproximadamente 50 años. Esta subida está claramente relacionada con la quema de combustibles fósiles, observándose una subida de la temperatura media anual claramente correlacionada con el incremento de la producción de CO_2 tras la revolución industrial (figura 2) [6] . Esta creación antropogénica de gases de efecto invernadero ha llevado a un calentamiento progresivo del planeta, alterando ecosistemas y propiciando récords de calor que se superan cada año [5].

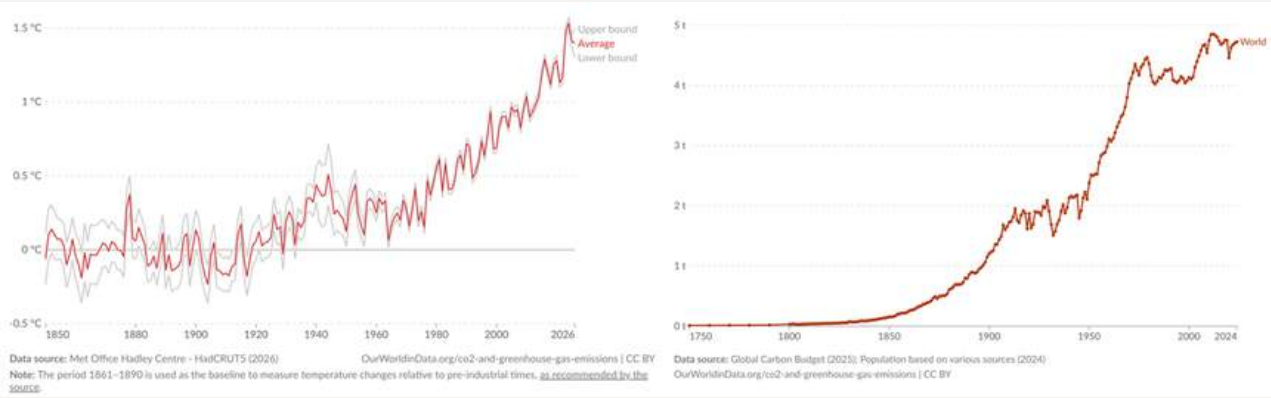


Figura 2. Temperatura media y aumento de los gases de efecto invernadero.
Fuente: https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions

2. Causas del cambio climático

2.1 Los gases de efecto invernadero y el efecto antropogénico

El efecto invernadero es un fenómeno natural que ha mantenido la temperatura media del planeta en torno a los 14 °C y ha hecho posible la vida tal como la conocemos. Está causado por un pequeño grupo de gases atmosféricos, principalmente vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y halocarbonos, que absorben la radiación infrarroja que emite la superficie terrestre y la reemiten en todas direcciones, calentando la atmósfera baja. El problema no es la existencia del efecto invernadero, sino su intensificación por causas humanas: desde el inicio de la era industrial, la quema masiva de combustibles fósiles y los cambios de uso del suelo han incrementado las concentraciones atmosféricas de CO_2 desde niveles preindustriales de unas 280 partes por millón (ppm) hasta superar las 420 ppm en 2024, con incrementos anuales que en la última década se sitúan de forma sostenida por encima de las 2 ppm. Las concentraciones de CH_4 y N_2O han crecido igualmente hasta valores no observados en los últimos 800.000 años [6].

No todos los gases contribuyen por igual al calentamiento. Cada agente climático ejerce una presión sobre el balance energético del planeta que se cuantifica mediante el llamado forzamiento radiativo efectivo (figura 3), expresado en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Según el Sexto Informe de Evaluación del IPCC, el CO_2 es el principal responsable del calentamiento antropogénico, con un forzamiento de aproximadamente +2,16 W/m^2 entre 1750 y 2019, seguido por el metano (+0,54 W/m^2, sin contar sus efectos indirectos), los halocarbonos (+0,41 W/m^2), el ozono troposférico (+0,47 W/m^2) y el N_2O (+0,21 W/m^2). Los aerosoles, procedentes en buena parte de la combustión de carbón y biomasa, ejercen un forzamiento neto negativo estimado en -1,06 W/m^2 que ha enmascarado parte del calentamiento; su reducción como beneficio de la mejora de la calidad del aire acelerará el ritmo aparente del calentamiento en las próximas décadas [5]. Aunque el CO_2 sea el principal gas de efecto invernadero, no quiere decir que sea el más potente. Como ejemplo, una molécula de metano presenta un potencial de calentamiento global 28 veces al de una molécula de CO_2, o los hidrofluorocarburos pueden presentar un potencial de calentamiento global 3000 veces mayor que el CO_2.

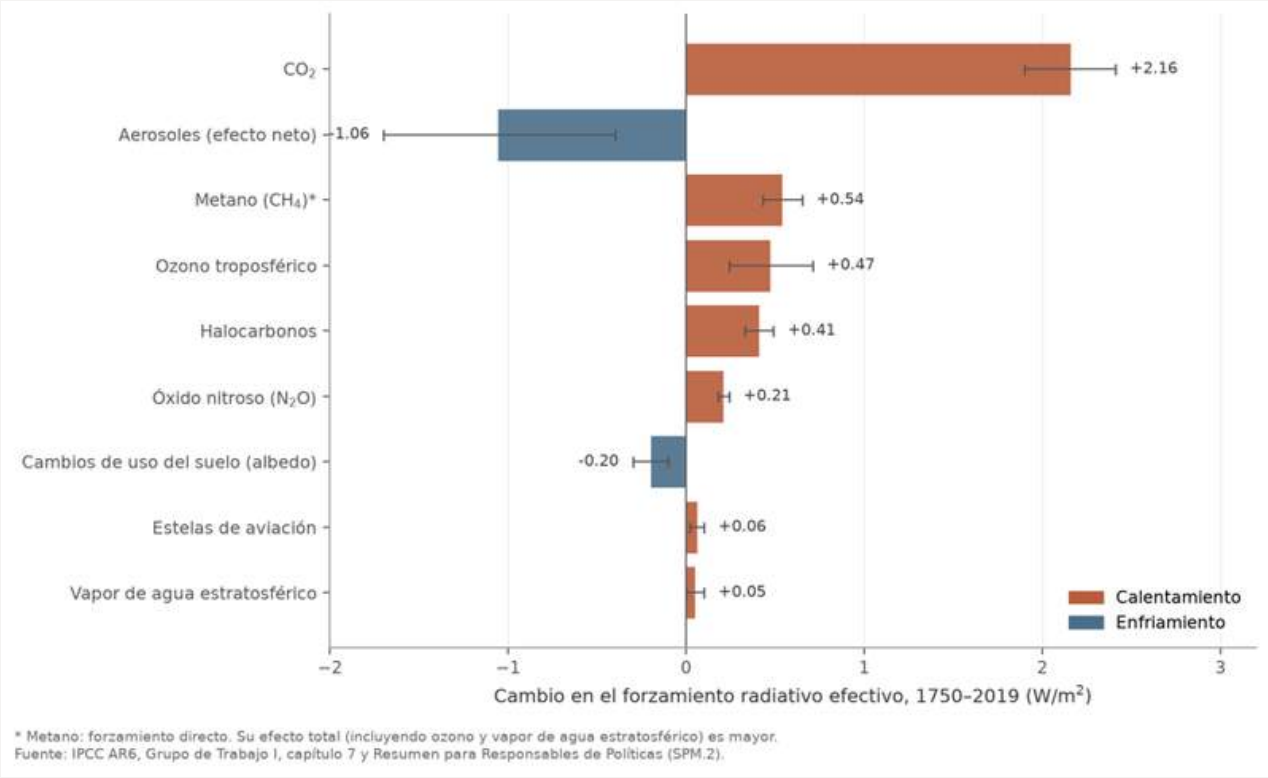


Figura 3. Contribución de cada agente al forzamiento radiativo efectivo antropogénico (1750–2019). Fuente: IPCC AR6, Grupo de Trabajo I, capítulo 7.

2.2 Contribución sectorial de los combustibles fósiles a los gases de efecto invernadero

Los combustibles fósiles son la causa dominante del cambio climático de origen humano: la combustión de carbón, petróleo y gas natural, junto con los procesos asociados a su extracción y refino, es responsable de en torno al 75 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y de aproximadamente el 90 % del CO_2 antropogénico. Las emisiones anuales globales han seguido una trayectoria ascendente prácticamente ininterrumpida en las últimas tres décadas, pasando de unas 24 $GtCO_2$ en 1990 a más de 40 $GtCO_2$ en 2023, con el carbón como principal contribuyente, seguido por el petróleo y el gas natural (figura 4)[10].

La distribución sectorial de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero permite identificar con precisión el origen del problema. El transporte terrestre, aéreo y marítimo, dominado por el petróleo, contribuye con aproximadamente el 27 % de las emisiones globales y es una de las principales fuentes de contaminación por NO_2 en zonas urbanas. La generación eléctrica basada en carbón y gas natural aporta en torno al 25 %; es también el sector donde la sustitución por renovables ha demostrado los beneficios sanitarios más inmediatos, con reducciones notables de mortalidad atribuible a $PM_{2,5}$ en Europa.

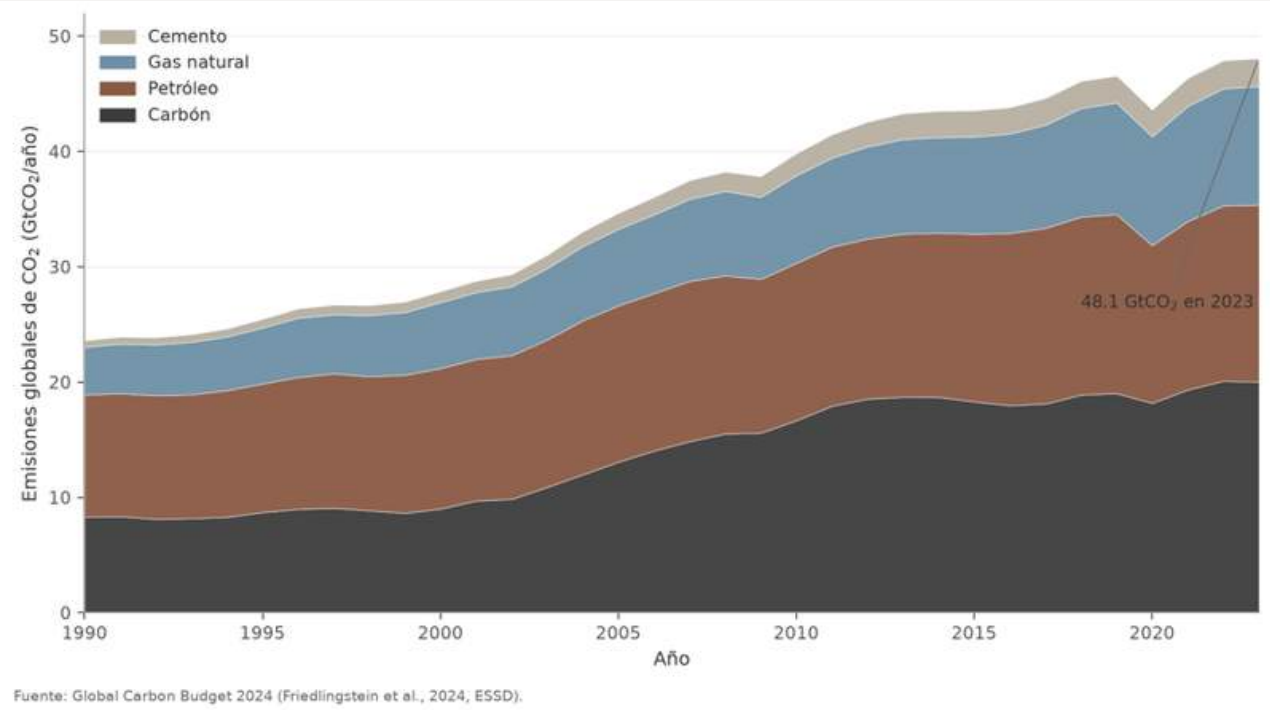


Figura 4. Emisiones globales de CO_2 por combustible fósil y producción de cemento, 1990–2023. Elaboración propia a partir de datos del Global Carbon Budget 2024.

La industria (manufactura, cemento y las propias fases de extracción y refino de las compañías petroleras) supone alrededor del 24 % y depende de la combustión intensiva de fósiles para alcanzar altas temperaturas en sus procesos extractivos. El sector residencial y comercial contribuye con aproximadamente el 13 % mediante el uso de gas, carbón o biomasa para calefacción, lo que genera contaminación interior de gran impacto sanitario. Finalmente, la deforestación y la agricultura suman en torno al 11 %, al destruir los sumideros naturales que absorben el CO_2 de origen fósil.

La trayectoria actual de emisiones no es compatible con los objetivos climáticos internacionales. Los escenarios evaluados por el IPCC muestran que, para mantener el calentamiento por debajo de 1,5 °C con probabilidad razonable, las emisiones globales deberían reducirse en torno al 43 % en 2030 respecto a 2019 y alcanzar el cero neto hacia 2050; sin embargo, los planes actuales de los principales países productores prevén extraer en 2030 más del doble de combustibles fósiles que ese umbral, una brecha de producción documentada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y que sigue prácticamente sin cerrar [2,5].

2.3 Presupuesto de carbono y trayectorias de emisiones

El concepto de presupuesto de carbono cuantifica cuánto CO_2 adicional puede emitirse a la atmósfera antes de superar un determinado umbral de calentamiento. El IPCC estimó a comienzos de 2020 un presupuesto restante para limitar el calentamiento a 1,5 °C, con un 50 % de probabilidad, de unas 500 gigatoneladas de CO_2. Al ritmo actual de emisiones, superior a 40 $GtCO_2$ anuales, ese presupuesto quedaría agotado en poco más de una década. La evolución más reciente confirma esta trayectoria: el planeta ha alcanzado un aumento medio de temperatura superior a 1,3 °C respecto a la era preindustrial, con varios años individuales que ya han rebasado transitoriamente el umbral de 1,5 °C [2].

Cada décima de grado adicional se traduce en un aumento medible de la carga sanitaria, con impactos no lineales sobre la mortalidad por calor, la propagación de vectores y la frecuencia de eventos meteorológicos extremos. La velocidad y la magnitud de la reducción de emisiones determinan, por lo tanto, no solo el clima futuro, sino también la salud presente y de las próximas generaciones [2,10].

3. Impacto del cambio climático en la salud

Las consecuencias del calentamiento global son muy variadas y su forma de afectar a la salud dependerá de la localización geográfica y de la capacidad de adaptación de la población. El impacto del cambio climático está lejos de ser homogéneo, afectando generalmente a las poblaciones más vulnerables, como ancianos y niños, y, sobre todo, a los países con bajos recursos económicos (lo que se ha llegado a conocer como racismo climático) [7]. Como ejemplo, los lactantes menores de 1 año y los adultos mayores de 65 años, los grupos de edad más vulnerables, estuvieron expuestos en 2024 a un número récord de días de calor. En promedio, cada lactante sufrió un 389% más de días de ola de calor, y cada persona mayor de 65 años un 304% más, en comparación con la exposición media registrada entre 1986 y 2005 [8]. El 84% de las olas de calor con capacidad mortal a las que la población mundial estuvo expuesta durante el periodo 2020-24 no habrían ocurrido sin el cambio climático [8]. La Organización Mundial de la Salud estima que se causarán 250.000 muertes adicionales directas debidas al cambio climático a partir de 2030 [9]. No obstante, la mortalidad por causas indirectas es mucho más elevada. La revista médica The Lancet ha definido al cambio climático como el mayor reto en salud de todo el siglo XXI [10].

Las infecciones transmitidas por vectores, los daños ocasionados por la contaminación del agua tras las lluvias extremas, el aumento de infecciones respiratorias debidas a las variaciones de temperatura, el aumento en la incidencia de enfermedades alérgicas y asmáticas por la polinización, la desestabilización y la mortalidad por los eventos de calor extremo, el daño pulmonar y cardiovascular por la polución de las ciudades, los trastornos psiquiátricos y la desnutrición en países con escasos recursos económicos son algunos de los efectos del cambio climático [11].

3.1 Enfermedades respiratorias

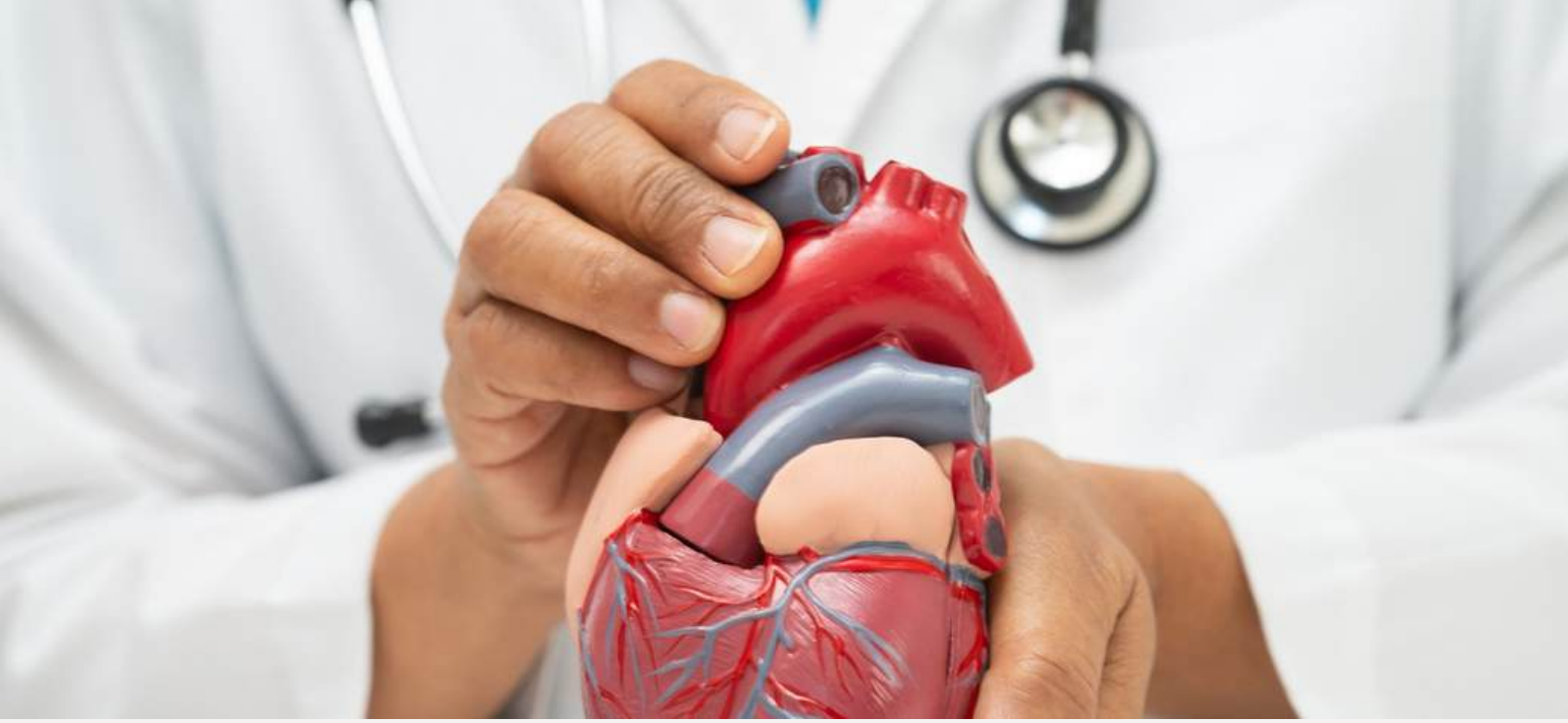
El cambio climático es una amenaza clara para la salud respiratoria, promoviendo la aparición de patologías respiratorias o agravando las ya existentes. Las enfermedades más afectadas son el asma, la rinosinusitis, la EPOC y las infecciones respiratorias. El impacto del calentamiento global es tal en el aparato respiratorio que, en la actualidad, se ha producido una inversión en el patrón estacional de muertes por causa respiratoria, con más decesos en los meses de verano que en los de invierno [12]. Está demostrado que, durante el verano, por cada grado centígrado de aumento por encima de los 29^{0}C la mortalidad y los ingresos por causa respiratoria aumentan un 7% y un 4% respectivamente. Estos datos son de mayor magnitud que los causados por las bajas temperaturas [12..]

La relación entre el cambio climático y la polución ambiental ha sido ampliamente estudiada.

El ozono troposférico (O_3) presenta una tasa de formación dependiente de la temperatura, con lo cual está directamente relacionado con el calentamiento global [13].

El O_3 está asociado a la disminución de la función pulmonar y aumento de la mortalidad (especialmente en niños y ancianos). Además, el O_3 ocasiona exacerbaciones de EPOC y de asma [14, 15].

Otro de los efectos del cambio climático sobre las patologías respiratorias viene dado por las alteraciones en los patrones de polinización. Está demostrado que el cambio climático afecta a la distribución de polen a escala global [16].



3.2 Enfermedades cardiovasculares

El cambio climático afecta directamente a las enfermedades cardiovasculares (ECV). Los efectos del calor se ven reflejados en el número de ingresos por ECV. Se ha demostrado que en los días de calor extremo hay un incremento del 7% en el riesgo de padecer un infarto de miocardio [19]. Este riesgo se mantiene en los días posteriores, aumentando un 4% las crisis hipertensivas o un 6% las arritmias cardíacas. Estudios amplios muestran cómo, por cada incremento de 1°C de la temperatura, el riesgo de hospitalización por infarto de miocardio aumenta un 1,6%. La relación entre las olas de calor y el infarto es todavía mayor [20, 21]. Esta relación está también presente en los episodios de temperaturas frías extremas y se da con más frecuencia en las personas de mayor edad [22]. A medida que las temperaturas sigan subiendo, se espera un aumento de la mortalidad por ECV que puede alcanzar un 10,2% dependiendo de los diferentes escenarios estudiados [23].

3.3 Infecciones

La relación entre las infecciones respiratorias y el cambio climático es compleja [24]. El calentamiento global disminuye el número de infecciones en invierno, pero aumenta el recuento total de las infecciones a lo largo del año por la inestabilidad en la temperatura. Existen evidencias que reflejan cómo la temperatura intradiurna o la variación en la misma en dos días consecutivos puede provocar un aumento en el riesgo relativo de desarrollar neumonías en niños y en ancianos. Esta variación de la temperatura puede darse tanto en invierno como en verano y, a mayor variación, mayor es el riesgo relativo de neumonía [25]. Se sabe que el aumento en la diferencia de temperatura intradiaria, o de dos días consecutivos, está directamente ligado al calentamiento global [5]. La incidencia de neumonía también se ve aumentada en relación a las precipitaciones [26].

Otra de las complejas interacciones que están relacionadas con el cambio climático es la de las epidemias anuales de gripe. Existen estudios que demuestran cómo, tras inviernos más cálidos de lo habitual, las epidemias de influenza A y B aparecen de forma más temprana y con picos de contagios más pronunciados [27]. Esto se debe probablemente a que existe un mayor número de sujetos susceptibles tras un invierno previo con alta radiación ultravioleta y pocos contagios.

Los fenómenos naturales extremos, también ligados al cambio climático, tienen a su vez su rol en las infecciones pulmonares. Se ha demostrado que las tormentas son capaces de volatilizar esporas de hongos del suelo y diseminarlas por amplios territorios. Se han comunicado brotes amplios de coccidioidomicosis tras tormentas y terremotos [28, 29], así como una estacionalidad en los brotes dependiente del clima extremo [30].

El cambio climático afecta a la distribución de los vectores de enfermedades infecciosas, principalmente a los mosquitos (dengue, chikunguya, hantavirus, malaria, fiebre del valle del Rift, virus del Nilo occidental o zika) [11]. Desde los años noventa, cinco especies diferentes de mosquitos Aedes han sido introducidas en Europa [31]. Se espera que estas especies puedan expandirse por el continente a medida que la temperatura sube por efecto del calentamiento global [32-34].

Ejemplo de ello fueron los brotes de dengue en Francia y Croacia en 2010 [35] o de chikunguya en Francia [36]. Hay estudios que han demostrado la implicación del cambio climático en este fenómeno, observando cómo, a partir de diferentes escenarios meteorológicos, las costas mediterráneas y las del mar Adriático son las que presentan mayor probabilidad de brotes de dengue a raíz del calentamiento global [37]. Otros estudios evidencian cómo el chikunguya ha dejado de ser una enfermedad exclusivamente tropical para expandirse por otras localizaciones [38] .

El virus del Nilo occidental es otra enfermedad transmitida por vectores cuya expansión es dependiente del calentamiento global [39]. Desde el año 1999, brotes de este virus han producido en Estados Unidos más de 39.000 infecciones en humanos y más de 1600 muertes [40]. En España, en el verano de 2020, se originó un brote sin precedentes en Sevilla [41], con al menos 8 muertes. El dengue también ha tenido brotes autóctonos en nuestro país, como el ocurrido en 2022 en las Islas Baleares [42, 43].

La malaria es otra patología que ve modificada su epidemiología en el cambiante escenario climático, con una proyección en aumento hasta 2099 [44]. Las altas temperaturas alcanzadas en verano permiten aumentar las oportunidades de contagio al acortar el desarrollo que precisa el parásito en el interior del mosquito [45]. Por ejemplo, tras un fenómeno muy intenso de El Niño en los años noventa que ocasionó lluvias torrenciales en el cuerno de África, se detectó un aumento de las muertes por malaria en Kenia y Uganda [46, 47]. Especial énfasis se pone en el Plasmodium vivax, que recientemente ha vuelto a Europa, con transmisión local en Grecia [45].

Otros vectores a tener en cuenta son las garrapatas, transmisoras de la enfermedad de Lyme. Factores climáticos y del uso de la tierra son responsables de la expansión y de la distribución geográfica de I. ricinus y hay evidencia de su expansión por Escandinavia y en altitudes no habituales [48, 49]. Modelos climáticos en Europa sugieren que la expansión de este vector puede doblarse en un futuro [50].

Las infecciones digestivas están lideradas por las ocasionadas por la familia de los vibrios. Es sabido que estas infecciones tienen un marcado carácter estacional, con predominio en los meses más calurosos [51]. De hecho, las infecciones por vibrios son las únicas que crecen en incidencia en Estados Unidos [52]. Estas infecciones han producido brotes en lugares previamente libres de enfermedad en el noroeste de Estados Unidos, pero también en el norte y oeste de Europa o en Israel [53-55]. Estos brotes parecen estar ligados de forma íntima al cambio climático [56]. Los cambios en la temperatura superficial del mar son considerados los causantes del mayor impacto en los ecosistemas de las costas a nivel mundial [57]. Se ha demostrado que el calentamiento de la superficie del mar se acompaña a su vez de un aumento en la concentración de vibrios [58].

3.4 Salud mental

La amenaza del cambio climático es un estresor emocional y psicológico. Tanto los individuos como las comunidades se ven afectados por el mismo, ya sea de forma directa por la experiencia de fenómenos locales como por la exposición a la información sobre el calentamiento global y sus efectos [61, 62]. La Sociedad Americana de Psiquiatría publicó en 2017 un posicionamiento donde expone claramente la amenaza que es el cambio climático para la salud mental. Los sujetos con enfermedades psiquiátricas son susceptibles de ser afectados de forma desproporcionada por las consecuencias del cambio climático [63].

Los síntomas más frecuentes van desde mínimo estrés hasta trastornos depresivos, trastornos ansiosos, estrés postraumático y pensamientos suicidas [64-66]. Como sucede habitualmente con las consecuencias del cambio climático, las poblaciones más vulnerables (niños, ancianos enfermos crónicos o personas de nivel socioeconómico bajo, inmigrantes, etcétera) son las más desfavorecidas y presentan un mayor riesgo para el desarrollo de síntomas psiquiátricos y psicológicos [67-71].

Es de señalar también que los eventos de calor extremo son especialmente relevantes en los pacientes a los que se les administran drogas antipsicóticas. Estos fármacos disminuyen la capacidad de regulación del calor de forma fisiológica, así como la homeostasis de líquidos, siendo un factor de riesgo establecido para la admisión en urgencias hospitalarias por patologías relacionadas a los días de calor extremo [72].

3.5 Efectos indirectos: incendios, nutrición y migraciones

El cambio climático provoca efectos indirectos en la salud que son difíciles de cuantificar. Por ejemplo, se ha demostrado que los incendios provocados por el calentamiento global, como los ocasionados en el noroeste de Estados Unidos en 2016 [73], pueden aumentar hasta diez veces los niveles de polución, con los efectos deletéreos a nivel respiratorio que eso conlleva [74]. Como ejemplo, también podemos ver los golpes de calor, que están claramente infradiagnosticados dependiendo de factores como el diagnóstico, la codificación o la identificación de los mismos [75].

Un efecto muy importante del cambio climático se observa en la calidad nutricional de los cultivos de cereales, como los de arroz o de avena. Se ha objetivado una disminución en los niveles de proteínas, así como en el rango de micronutrientes y de vitaminas [76-78]. De hecho, se estima que, en 2050 y debido al calentamiento global, existirá un incremento neto mundial de 529.000 muertes en adultos como resultado de la reducción del acceso a la comida (principalmente a la fruta y a la verdura) [79]. En este sentido, el Banco Mundial estima que, sin un desarrollo sostenible, el cambio climático podría exponer a 100 millones de personas a la extrema pobreza para 2030 [80].

El cambio climático afecta también a los movimientos migratorios. Por ejemplo, las peticiones de asilo a la Unión Europea desde más de 100 países se incrementaron de forma no lineal cuando, en la temporada de crecimiento de maíz, las temperaturas se desviaron de la media óptima (aproximadamente 20 grados), sobre todo cuando la temperatura era más alta.

Se estima que con las proyecciones actuales de aumento de temperatura, las peticiones de asilo se incrementen un 175% al final de este siglo [81]. Hay que tener en cuenta también las migraciones que acompañan a las sequías. Estas migraciones conducen a la violencia, a la desnutrición y a la propagación de algunas enfermedades infecciosas (respiratorias y digestivas).

4. Conclusiones

El cambio climático ya está modificando el perfil epidemiológico de las enfermedades que atendemos en la práctica clínica diaria, desde el asma y las agudizaciones de la EPOC hasta las infecciones por vectores, los eventos cardiovasculares durante las olas de calor o el sufrimiento psíquico asociado a los desastres. Estos efectos comparten un origen común con la contaminación atmosférica, la quema de combustibles fósiles, y exigen una respuesta también compartida. El capítulo siguiente aborda con detalle cómo la polución del aire impacta en cada aparato y sistema del organismo, mientras que el último desarrolla la transición energética como la principal intervención de salud pública disponible para revertir ambas amenazas.

Referencias

1. Health Effects Institute. State of Global Air 2024. Special Report. Health Effects Institute. 2024;Boston, MA.
2. Kriit HK, Chen-Xu J, Semenza JC, Heiliger H, Markandya A, Dasandi N, et al. The 2026 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: narrowing window for decisive health action. Lancet Public Health. 2026;11(6):e386-e407.
3. Rudolph L, Surapaneni VL. Clearing the Smoke on Fossil Fuels - The Health Imperative for a Countermarketing Campaign. N Engl J Med. 2025;392(16):1563-5.
4. WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM(25) and PM(10)), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. Geneva2021.
5. IPCC CCI, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
6. WMO. World Meteorological Organization. Greenhouse Gas Bulletin No. 21: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2024. Available from: https://wmo.int/resources/publication-series/greenhouse-gas-bulletin/wmo-greenhouse-gas-bulletin-no-21.
7. Salas RN. Environmental Racism and Climate Change - Missed Diagnoses. N Engl J Med. 2021.
8. Romanello M, Walawender M, Hsu SC, Moskeland A, Palmeiro-Silva Y, Scamman D, et al. The 2024 report of the Lancet Countdown on health and climate change: facing record-breaking threats from delayed action. Lancet. 2024;404(10465):1847-96.
9. WHO. Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s, World Health Organization, Geneva. 2014.
10. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. Lancet. 2019;394(10211):1836-78.
11. Haines A, Ebi K. The Imperative for Climate Action to Protect Health. N Engl J Med. 2019;380(3):263-73.
12. Achebak H, Devolder D, Ingole V, Ballester J. Reversal of the seasonality of temperature-attributable mortality from respiratory diseases in Spain. Nat Commun. 2020;11(1):2457.
13. US EPA – USEP Agency. Assessment of the impacts of global change on regional US air quality: a synthesis of climate change impacts on ground-level ozone. Washington D.
14. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. Chest. 2019;155(2):409-16.
15. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, 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. 2019;155(2):417-26.
16. Ziska LH, Beggs PJ. Anthropogenic climate change and allergen exposure: The role of plant biology. J Allergy Clin Immunol. 2012;129(1):27-32.
17. D'Amato G, Cecchi L, D'Amato M, Liccardi G. Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. J Investig Allergol Clin Immunol. 2010;20(2):95-102; quiz following
18. D'Amato G, Cecchi L, Annesi-Maesano I. A trans-disciplinary overview of case reports of thunderstorm-related asthma outbreaks and relapse. Eur Respir Rev. 2012;21(124):82-7.

19. Li M, Shaw BA, Zhang W, Vasquez E, Lin S. Impact of Extremely Hot Days on Emergency Department Visits for Cardiovascular Disease among Older Adults in New York State. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(12).
20. Sun Z, Chen C, Xu D, Li T. Effects of ambient temperature on myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. Environ Pollut. 2018;241:1106-14.
21. Yin P, Chen R, Wang L, Liu C, Niu Y, Wang W, et al. The added effects of heatwaves on cause-specific mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities. Environ Int. 2018;121(Pt 1):898-905.
22. Zhai L, Ma X, Wang J, Luan G, Zhang H. Effects of ambient temperature on cardiovascular disease: a time-series analysis of 229288 deaths during 2009-2017 in Qingdao, China. Int J Environ Health Res. 2020:1-10.
23. Zhang B, Li G, Ma Y, Pan X. Projection of temperature-related mortality due to cardiovascular disease in beijing under different climate change, population, and adaptation scenarios. Environ Res. 2018;162:152-9.
24. Mirsaeidi M, Motahari H, Taghizadeh Khamesi M, Sharifi A, Campos M, Schraufnagel DE. Climate Change and Respiratory Infections. Ann Am Thorac Soc. 2016;13(8):1223-30.
25. Xu Z, Hu W, Tong S. Temperature variability and childhood pneumonia: an ecological study. Environ Health. 2014;13(1):51.
26. Paynter S, Ware RS, Weinstein P, Williams G, Sly PD. Childhood pneumonia: a neglected, climate-sensitive disease? Lancet. 2010;376(9755):1804-5.
27. Towers S, Chowell G, Hameed R, Jastrebski M, Khan M, Meeks J, et al. Climate change and influenza: the likelihood of early and severe influenza seasons following warmer than average winters. PLoS Curr. 2013;5.
28. Schneider E, Hajjeh RA, Spiegel RA, Jibson RW, Harp EL, Marshall GA, et al. A coccidioidomycosis outbreak following the Northridge, Calif, earthquake. JAMA. 1997;277(11):904-8.
29. Williams PL, Sable DL, Mendez P, Smyth LT. Symptomatic coccidioidomycosis following a severe natural dust storm. An outbreak at the Naval Air Station, Lemoore, Calif. Chest. 1979;76(5):566-70.
30. Comrie AC. Climate factors influencing coccidioidomycosis seasonality and outbreaks. Environ Health Perspect. 2005;113(6):688-92.
31. Medlock JM, Leach SA. Effect of climate change on vector-borne disease risk in the UK. Lancet Infect Dis. 2015;15(6):721-30.
32. Caminade C, Medlock JM, Ducheyne E, McIntyre KM, Leach S, Baylis M, et al. Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito Aedes albopictus: recent trends and future scenarios. J R Soc Interface. 2012;9(75):2708-17.
33. Fischer D, Thomas SM, Niemitz F, Reineking B, Beierkuhnlein C. Projection of climatic suitability for Aedes albopictus Skuse (Culicidae) in Europe under climate change conditions. Global and Planetary Change. 2011;78(1):54-64.
34. Burt FJ, Chen W, Miner JJ, Lenschow DJ, Merits A, Schnettler E, et al. Chikungunya virus: an update on the biology and pathogenesis of this emerging pathogen. Lancet Infect Dis. 2017;17(4):e107-e17.
35. Schaffner F, Fontenille D, Mathis A. Autochthonous dengue emphasises the threat of arbovirosis in Europe. Lancet Infect Dis. 2014;14(11):1044.
36. ECDC. Epidemiological update: autochthonous cases of chikungunya fever in France. Oct 24 List=8db7286c-fe2d-476c-9133-18ff 4cb1b568&ID=1096 (accessed Feb 20.
37. Bouzid M, Colon-Gonzalez FJ, Lung T, Lake IR, Hunter PR. Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever. BMC Public Health. 2014;14:781.
38. Kang H, Auzenbergs M, Clapham H, Maure C, Kim JH, Salje H, et al. Chikungunya seroprevalence, force of infection, and prevalence of chronic disability after infection in endemic and epidemic settings: a systematic review, meta-analysis, and modelling study. Lancet Infect Dis. 2024;24(5):488-503.
39. Pradier S, Lecollinet S, Leblond A. West Nile virus epidemiology and factors triggering change in its distribution in Europe. Rev Sci Tech. 2012;31(3):829-44.

40. CDC. West Nile virus. 2014. www.cdc.gov/westnile/statsMaps (accessed Feb 25.
41. Garcia San Miguel Rodriguez-Alarcon L, Fernandez-Martinez B, Sierra Moros MJ, Vazquez A, Julian Paches P, Garcia Villacieros E, et al. Unprecedented increase of West Nile virus neuroinvasive disease, Spain, summer 2020. Euro Surveill. 2021;26(19).
42. García-San-Miguel L, Giménez-Durán J, Saravia-Campelli G, Calvo-Reyes MC, Fernández-Martínez B, Frank C, et al. Detection of dengue in German tourists returning from Ibiza, Spain, related to an autochthonous outbreak, August to October 2022. Euro Surveill. 2024;29(14).
43. Ministerio de S, Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias S. Agrupación de casos de dengue autóctono en Ibiza. Madrid: Ministerio de Sanidad; 2023 2023/02/28.
44. Madaniyazi L, Armstrong B, Tobias A, Mistry MN, Bell ML, Urban A, et al. Seasonality of mortality under climate change: a multicountry projection study. Lancet Planet Health. 2024;8(2):e86-e94.
45. Lindsay SW, Hole DG, Hutchinson RA, Richards SA, Willis SG. Assessing the future threat from vivax malaria in the United Kingdom using two markedly different modelling approaches. Malar J. 2010;9:70.
46. Brown V, Abdir Issak M, Rossi M, Barboza P, Paugam A. Epidemic of malaria in north-eastern Kenya. Lancet. 1998;352(9137):1356-7.
47. Kilian AH, Langi P, Talisuna A, Kabagambe G. Rainfall pattern, El Nino and malaria in Uganda. Trans R Soc Trop Med Hyg. 1999;93(1):22-3.
48. Jore S, Vanwambeke SO, Viljugrein H, Isaksen K, Kristoffersen AB, Woldehiwet Z, et al. Climate and environmental change drives Ixodes ricinus geographical expansion at the northern range margin. Parasit Vectors. 2014;7:11.
49. Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, Derdakova M, Estrada-Pena A, George JC, et al. Driving forces for changes in geographical distribution of Ixodes ricinus ticks in Europe. Parasit Vectors. 2013;6:1.
50. Porretta D, Mastrantonio V, Amendolia S, Gaiarsa S, Epis S, Genchi C, et al. Effects of global changes on the climatic niche of the tick Ixodes ricinus inferred by species distribution modelling. Parasit Vectors. 2013;6:271.
51. Iwamoto M, Ayers T, Mahon BE, Swerdlow DL. Epidemiology of seafood-associated infections in the United States. Clin Microbiol Rev. 2010;23(2):399-411.
52. Crim SMealatoiwptctfFDASN, 10 U.S. sites, 2006-2013. MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep. 63, 328–332.
53. Paz S, Bisharat N, Paz E, Kidar O, Cohen D. Climate change and the emergence of Vibrio vulnificus disease in Israel. Environ Res. 2007;103(3):390-6.
54. Baker-Austin C, Trinanes JA, Salmenlinna S, Löfdahl M, Siitonen A, Taylor NG, et al. Heat Wave-Associated Vibriosis, Sweden and Finland, 2014. Emerg Infect Dis. 2016;22(7):1216-20.
55. Martinez-Urtaza J, Lozano-Leon A, Varela-Pet J, Trinanes J, Pazos Y, Garcia-Martin O. Environmental determinants of the occurrence and distribution of Vibrio parahaemolyticus in the rias of Galicia, Spain. Appl Environ Microbiol. 2008;74(1):265-74.
56. Baker-Austin C, Trinanes JA, Taylor NGH, Hartnell R, Siitonen A, Martinez-Urtaza J. Emerging Vibrio risk at high latitudes in response to ocean warming. Nature Climate Change. 2013;3(1):73-7.
57. Halpern BS, Walbridge S, Selkoe KA, Kappel CV, Micheli F, D'Agrosa C, et al. A global map of human impact on marine ecosystems. Science. 2008;319(5865):948-52.
58. Vezzulli L, Brettar I, Pezzati E, Reid PC, Colwell RR, Höfle MG, et al. Long-term effects of ocean warming on the prokaryotic community: evidence from the vibrios. The ISME Journal. 2012;6(1):21-30.
59. McLaughlin JB, DePaola A, Bopp CA, Martinek KA, Napolilli NP, Allison CG, et al. Outbreak of Vibrio parahaemolyticus gastroenteritis associated with Alaskan oysters. N Engl J Med. 2005;353(14):1463-70.
60. Martinez-Urtaza J, Baker-Austin C, Jones JL, Newton AE, Gonzalez-Aviles GD, DePaola A. Spread of Pacific Northwest Vibrio parahaemolyticus strain. N Engl J Med. 2013;369(16):1573-4.
61. Coverdale J, Balon R, Beresin EV, Brenner AM, Guerrero APS, Louie AK, et al. Climate Change: A Call to Action for the Psychiatric Profession. Acad Psychiatry. 2018;42(3):317-23.

62. Hwong AR, Wang M, Khan H, Chagwedera DN, Grzenda A, Doty B, et al. Climate change and mental health research methods, gaps, and priorities: a scoping review. The Lancet Planetary Health. 2022;6(3):e281-e91.
63. 09/09/2021. APAPSoCCwpoA.
64. Fullerton CS, McKibben JB, Reissman DB, Scharf T, Kowalski-Trakofler KM, Shultz JM, et al. Posttraumatic stress disorder, depression, and alcohol and tobacco use in public health workers after the 2004 Florida hurricanes. Disaster Med Public Health Prep. 2013;7(1):89-95.
65. North CS, Kawasaki A, Spitznagel EL, Hong BA. The course of PTSD, major depression, substance abuse, and somatization after a natural disaster. J Nerv Ment Dis. 2004;192(12):823-9.
66. Arnberg FK, Bergh Johannesson K, Michel PO. Prevalence and duration of PTSD in survivors 6 years after a natural disaster. J Anxiety Disord. 2013;27(3):347-52.
67. Rhodes J, Chan C, Paxson C, Rouse CE, Waters M, Fussell E. The impact of hurricane Katrina on the mental and physical health of low-income parents in New Orleans. Am J Orthopsychiatry. 2010;80(2):237-47.
68. Ramin B, Svoboda T. Health of the homeless and climate change. J Urban Health. 2009;86(4):654-64.
69. Bei B, Bryant C, Gilson KM, Koh J, Gibson P, Komiti A, et al. A prospective study of the impact of floods on the mental and physical health of older adults. Aging Ment Health. 2013;17(8):992-1002.
70. La Greca A, Silverman WK, Vernberg EM, Prinstein MJ. Symptoms of posttraumatic stress in children after Hurricane Andrew: a prospective study. J Consult Clin Psychol. 1996;64(4):712-23.
71. Xiong X, Harville EW, Mattison DR, Elkind-Hirsch K, Pridjian G, Buekens P. Hurricane Katrina experience and the risk of post-traumatic stress disorder and depression among pregnant women. Am J Disaster Med. 2010;5(3):181-7.
72. Martin-Latry K, Goumy MP, Latry P, Gabinski C, Begaud B, Faure I, et al. Psychotropic drugs use and risk of heat-related hospitalisation. Eur Psychiatry. 2007;22(6):335-8.
73. Tett S FA, Rogers M, et al. Anthropogenic in fire risk in Western North America and Australia during 2015/2016. In: Herring SC, Christidis N, Hoell A, Kossin JP, Schreck CJ III, Stott PA. Explaining extreme events of 2016 from a climate perspective. Bull Am Meteorol Soc 2018; 99: Suppl: S60-S64.
74. Liu JC, Mickley LJ, Sulprizio MP, Dominici F, Yue X, Ebisu K, et al. Particulate Air Pollution from Wildfires in the Western US under Climate Change. Clim Change. 2016;138(3):655-66.
75. Tobias A, Honda Y, Madaniyazi L, Alahmad B, Lavigne E, Roye D, et al. Variation in reporting of heatstroke mortality: evidence from a multi-country study. The Lancet Public Health. 2026;11(3):e156-e63.
76. Zhu C, Kobayashi K, Loladze I, Zhu J, Jiang Q, Xu X, et al. Carbon dioxide (CO2) levels this century will alter the protein, micronutrients, and vitamin content of rice grains with potential health consequences for the poorest rice-dependent countries. Sci Adv. 2018;4(5):eaaq1012.
77. Myers SS, Zanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey AD, Bloom AJ, et al. Increasing CO2 threatens human nutrition. Nature. 2014;510(7503):139-42.
78. Loladze I. Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO(2)depletes minerals at the base of human nutrition. Elife. 2014;3:e02245.
79. Springmann M, Mason-D'Croz D, Robinson S, Garnett T, Godfray HC, Gollin D, et al. Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study. Lancet. 2016;387(10031):1937-46.
80. Hallegatte S BM, Bonzanigo L, et al. Shock waves: managing the impacts of climate change on poverty. Washington, DC: World Bank, 2015.
81. Missirian A, Schlenker W. Asylum applications respond to temperature fluctuations. Science. 2017;358(6370):1610-4.

CAPÍTULO II

La calidad del aire y la salud

1. Introducción

La contaminación atmosférica constituye hoy una de las principales causas ambientales de morbimortalidad a escala mundial y comparte con el cambio climático su origen principal en la quema de combustibles fósiles, creando tanto el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO_2) o los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2, habitualmente expresados como NO_x). Además, a través de reacciones químicas complejas en la atmósfera, estos gases precursores, junto con los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el amoníaco, forman partículas nocivas secundarias (nitratos y sulfatos) y ozono troposférico (O_3) debido a la acción de la radiación solar. El transporte terrestre, aéreo o marítimo, la generación de la energía en las centrales térmicas, así como la quema de biomasa, son los mayores contribuyentes a la polución a nivel mundial. Aunque la contaminación no influye directamente en el cambio climático, sí es una causa muy relevante de morbimortalidad en todo el mundo. Se estima que hay 7 millones de muertes anuales debidas a la mala calidad del aire en el mundo [1].

2. Principales contaminantes atmosféricos

2.1 Los combustibles fósiles como fuente principal de contaminación atmosférica

La quema de combustibles fósiles constituye la principal fuente antropogénica de contaminación atmosférica en el planeta. El transporte, la generación eléctrica con carbón y gas, la industria pesada y la calefacción doméstica emiten a la atmósfera la mayor parte de CO, SO_2, NO_x, COV y del material particulado primario que respiramos [1,3]. A ello se suman los aerosoles secundarios (sulfatos y nitratos) y el O_3, que se forman en la atmósfera a partir de esos mismos precursores.

Estas fuentes comparten origen con las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que las políticas de mitigación climática y de calidad del aire que actúan sobre los mismos sectores, ofrecen cobeneficios sanitarios inmediatos[4]. Según el Global Burden of Disease, la contaminación atmosférica exterior es responsable de una carga sustancial de mortalidad prematura y de años de vida perdidos por enfermedades cardiovasculares, respiratorias y oncológicas [5,17]. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer clasifica la contaminación del aire exterior y su componente particulado como carcinógeno del grupo 1 [20].

2.2 Contaminantes primarios y secundarios: el papel del ozono troposférico

A diferencia de los demás contaminantes, el O_3 no procede directamente de una chimenea o un tubo de escape: se forma en la atmósfera baja mediante reacciones fotoquímicas entre el NO_2 y los COV en presencia de radiación ultravioleta. En un ciclo simplificado, la fotólisis del NO_2 genera oxígeno atómico que se combina con O_2 para producir O_3; a su vez, el O_3 puede reaccionar con NO regenerando NO_2. Los COV desplazan este equilibrio hacia la acumulación de ozono al oxidar el NO a NO_2 sin consumir O_3, de modo que el balance neto en aire urbano con abundancia de precursores es una producción sostenida de O_3 durante las horas de mayor insolación.

El calentamiento global potencia la formación de O_3 por varias vías simultáneas: temperaturas más elevadas aceleran las reacciones fotoquímicas y la evaporación de COV biogénicos, la mayor radiación solar en episodios anticiclónicos incrementa la fotólisis, y el estancamiento atmosférico asociado a las olas de calor concentra los precursores en la capa límite. El resultado son episodios de ozono más frecuentes, más intensos y con un desplazamiento estacional hacia primaveras y otoños cada vez más cálidos[4]. La Agencia Europea de Medio Ambiente documenta que, pese a las mejoras en otros contaminantes, las superaciones de los umbrales sanitarios de O_3 se mantienen elevadas en toda Europa (Figura 1), con implicaciones directas sobre las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y sobre la mortalidad prematura que se abordan en los apartados siguientes [24].

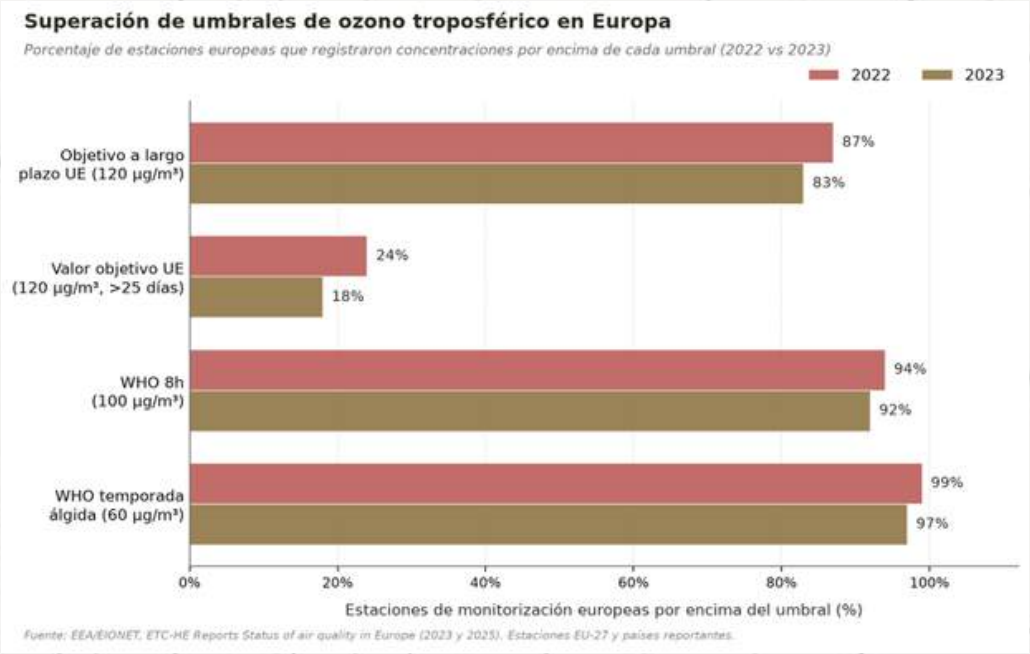


Figura 1. Superación de umbrales de ozono troposférico en Europa (2022 y 2023). Elaboración propia a partir de EEA/EIONET, ETC-HE Reports Status of air quality in Europe (2023 y 2025).

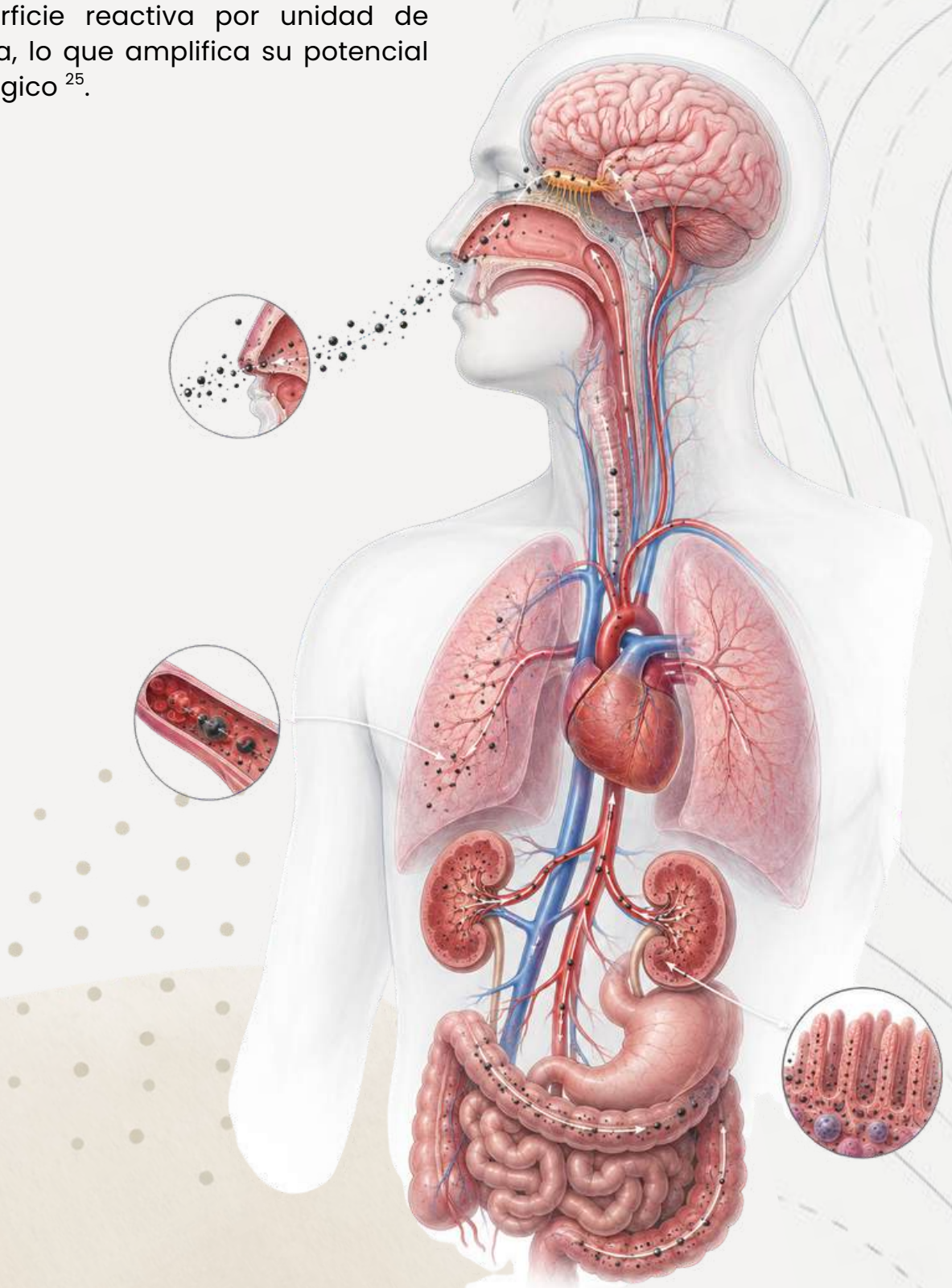
2.3 El material particulado

De todos los contaminantes atmosféricos, el material particulado (PM) es el que acumula la evidencia sanitaria más sólida y la mayor atribución de mortalidad y morbilidad a escala global. No se trata de un contaminante homogéneo, sino de una mezcla compleja de partículas sólidas y gotas líquidas en suspensión cuya toxicidad depende del tamaño, la composición química y la fuente de emisión. Su tamaño, en particular, condiciona hasta qué profundidad del aparato respiratorio penetran y qué respuesta biológica desencadenan.

El material particulado se clasifica según su tamaño en PM_{10} y $PM_{2.5}$ (partículas cuyos diámetros son inferiores a 10 y 2.5 µm, respectivamente). Mientras que el PM_{10} afecta principalmente a las vías respiratorias superiores, el $PM_{2.5}$ penetra hasta los alvéolos e ingresa en la circulación sistémica, con capacidad para producir estrés oxidativo e inflamación sistémica [2].

Más allá de PM_{10} y $PM_{2.5}$, cada vez cobran más relevancia las partículas ultrafinas ($PM_{0,1}$, con diámetros inferiores a 0,1 µm), muy abundantes en el aire urbano expuesto al tráfico rodado y a la combustión de diésel. Su reducido tamaño les permite atravesar la barrera alveolo-capilar, alcanzar la circulación sistémica y depositarse en órganos distantes, incluido el sistema nervioso central por vía olfatoria [25].

Los mecanismos de daño se solapan con los descritos para el $PM_{2.5}$ —estrés oxidativo, inflamación, disfunción endotelial y alteración del sistema nervioso autónomo—, con la particularidad de que las partículas ultrafinas presentan una mayor superficie reactiva por unidad de masa, lo que amplifica su potencial biológico [25].



La relación exposición-respuesta al $PM_{2.5}$ no muestra un umbral por debajo del cual el riesgo desaparezca: grandes series multicéntricas demuestran que incrementos incluso pequeños de la concentración diaria de $PM_{2.5}$ se asocian a aumentos medibles de la mortalidad por todas las causas [24]. Este comportamiento sin umbral es la base de las nuevas directrices de la OMS de 2021, que han rebajado sustancialmente los valores guía frente a versiones previas. La Tabla 1 recoge esos valores guía para el conjunto de los contaminantes atmosféricos junto con sus principales efectos sobre la salud [4].

Contaminante	Valor guía OMS 2021	Principales efectos sobre la salud
$PM_{2,5}$	Media anual: 5 µg/m³ 24 h: 15 µg/m³	Respiratorio, cardiovascular, neurológico, cáncer, mortalidad
PM_{10}	Media anual: 15 µg/m³ 24 h: 45 µg/m³	Vías respiratorias superiores, mortalidad cardiovascular
NO_2	Media anual: 10 µg/m³ 24 h: 25 µg/m³ 1 h: 200 µg/m³	Inflamación vías aéreas, rinitis, asma
Ozono (O_3)	Temporada alta: 60 µg/m³ 8 h: 100 µg/m³	Efectos respiratorios, metabólicos y potencialmente cardiovasculares

Tabla 1. Directrices de Calidad del Aire de la OMS 2021 4.

3. Impacto de la contaminación atmosférica en la salud

La contaminación, en particular la del aire, se asocia con una elevada tasa de mortalidad. En 2019 la contaminación fue responsable de aproximadamente 9 millones de muertes prematuras, más de 6 millones de ellas atribuibles a la contaminación del aire. Una actualización de 2022 con datos del GBD 2019 confirma que la polución sigue siendo responsable de cerca de 9 millones de muertes anuales, es decir, 1 de cada 6 muertes en el mundo, con más de 6,5 millones atribuibles a la contaminación aérea 7. Como suele ocurrir en salud planetaria, la mayoría de estas muertes se producen en la población vulnerable de los países en desarrollo [3, 4]. Para dimensionar su relevancia, la carga de la contaminación es comparable a la del tabaco y triplica las muertes causadas por el sida, la tuberculosis y la malaria en conjunto [5]. En los apartados siguientes se resume su impacto por sistemas y especialidades.

3.1 Aparato respiratorio: asma, EPOC y cáncer de pulmón

El aparato respiratorio constituye la principal puerta de entrada de los contaminantes al organismo y el primer órgano diana de sus efectos nocivos. Existe además evidencia de que el desarrollo pulmonar en la infancia y en la juventud puede verse afectado debido a la contaminación [6].

Asma y EPOC

Existen evidencias abrumadoras del papel de la polución aérea en el incremento de la morbilidad del asma: aumenta sus síntomas, las visitas a urgencias y el deterioro de la función pulmonar. Un metaanálisis de 64 estudios con 12,4 millones de participantes cuantifica el riesgo de asma por contaminación: OR 1,146 para NO_2, OR 1,087 para $PM_{2.5}$, OR 1,037 para PM_{10}, OR 1,032 para ozono, OR 1,090 para SO2 y OR 1,184 para CO. En este trabajo se observa la asociación significativa entre la polución aérea y el riesgo de asma, rinitis y sinusitis crónica, afectando particularmente a la población vulnerable de áreas urbanas [7]. La rinitis alérgica se asocia significativamente con NO_2 (OR 1,083), PM_{10} (OR 1,026), $PM_{2.5}$ (OR 1,104), SO_2 (OR 1,116), ozono (OR 1,058) y CO (OR 1,070). La prevalencia de rinitis alérgica atribuible a la contaminación aérea se estima en un 16%, la del asma en un 11% y la de la sinusitis crónica en un 12%. La sinusitis crónica muestra asociaciones con $PM_{2.5}$ (OR 1,135), NO_2 (OR 1,091) y PM_{10} (OR 1,220). Existe también una clara asociación entre la polución y la prevalencia de asma y de enfermedades respiratorias crónicas [8].

Esta asociación demuestra una relación entre la contaminación relacionada con el tráfico y el desarrollo de asma y rinitis de manera directamente proporcional a la exposición [9-11].

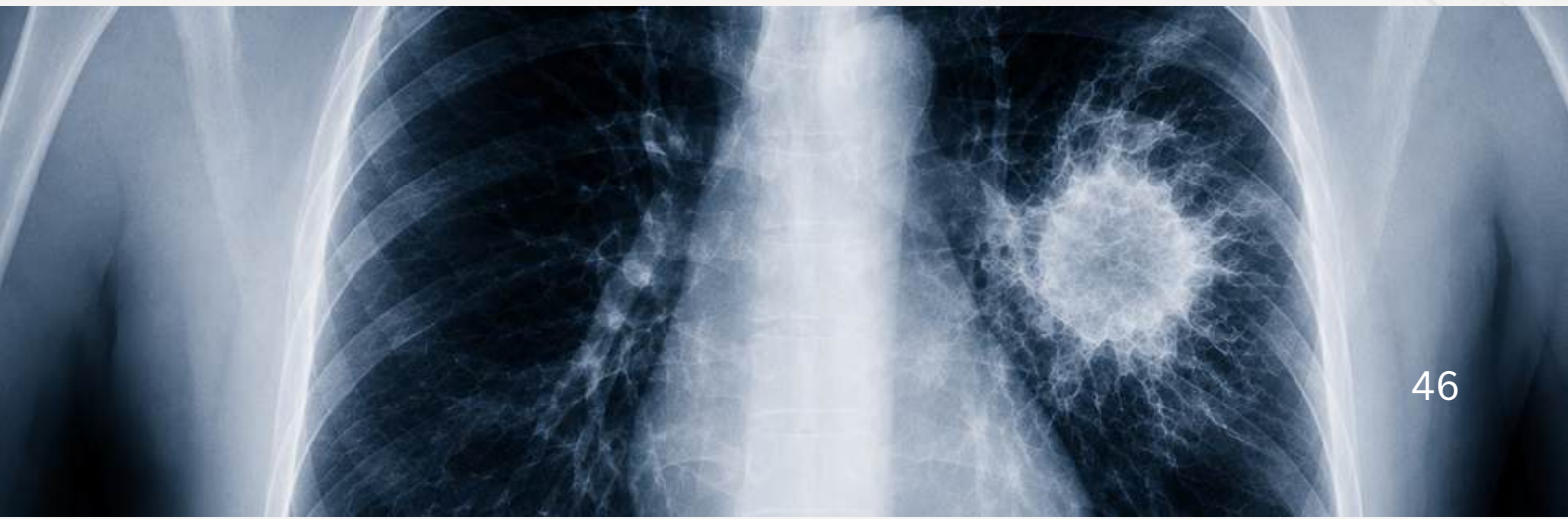
Los pacientes asmáticos expuestos a la contaminación también pueden experimentar una obstrucción crónica no reversible con una disminución más pronunciada en la función pulmonar y un mayor riesgo de visitas a urgencias por exacerbaciones [12-14]. Además, el $PM_{2.5}$ y el NO_2 se han asociado con un aumento en la sensibilización a los alérgenos, actuando como adyuvantes que potencian la respuesta alérgica, especialmente al polen de abedul y hierba [15, 16].

Los pacientes con EPOC también se ven profundamente afectados por la contaminación, siendo el material particulado ambiental una de las principales causas de carga de EPOC a nivel global [17]. Si bien las pruebas que respaldan la contaminación del aire como la causa de la EPOC no son concluyentes, numerosos estudios han establecido una conexión entre la contaminación del aire y el empeoramiento de los síntomas de la EPOC, las exacerbaciones, las hospitalizaciones y la mortalidad [18, 19].

Cáncer de pulmón

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado el $PM_{2.5}$ como carcinógeno del Grupo 1 [20]. Se estima que la contaminación aérea exterior es responsable del 8% de las muertes por cáncer de pulmón a nivel mundial [21]. Los mecanismos carcinogénicos incluyen la acción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), metales pesados y especies reactivas de oxígeno (ERO) sobre el ADN, formación de aductos y daño oxidativo, junto con la inflamación crónica que promueve la proliferación celular [22].

El análisis del GBD 2021 sobre cánceres de tráquea, bronquio y pulmón atribuibles a la contaminación doméstica muestra que las muertes disminuyeron un 39,2% entre 1990 y 2021, con las mayores caídas en regiones de alto índice de desarrollo humano (IDH). Sin embargo, las proyecciones apuntan a un aumento de tasas en los próximos 30 años, con una carga desproporcionada en mujeres [23]. A nivel global, la mortalidad diaria por causas respiratorias aumenta un 0,47% por cada incremento de 10 $\mu g/m^3$ en PM_{10} [24].



3.2 Enfermedad cardiovascular

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) constituyen la principal causa de muerte relacionada con la contaminación aérea. Según el GBD 2019, el 61,9% de las muertes atribuibles a la polución son de origen cardiovascular: 31,7% por cardiopatía isquémica (CI) y 27,7% por enfermedad cerebrovascular [25]. El $PM_{2.5}$ se asocia con 3,5 millones de muertes por ECV anuales, representando el 70-90% de toda la mortalidad vinculada a este contaminante [26]. Como ejemplo, en estudios recientes se ha demostrado que el exceso de mortalidad por la polución del aire en Europa se sitúa alrededor de 790.000, de las cuales, entre el 40 y el 80% son por causa cardiovascular, disminuyendo la expectativa de vida en Europa alrededor de 2,2 años [27]. Se ha demostrado que un incremento de 10 µg/m³ en $PM_{2.5}$ a corto plazo se asocia con un aumento del 0,55% en la mortalidad cardiovascular diaria (incrementa el riesgo de infarto de miocardio entre un 1-2% por cada 10 µg/m³ de aumento) y del 0,68% en la mortalidad por todas las causas [24]. A largo plazo, la exposición crónica a $PM_{2.5}$ se asocia con aterosclerosis, infarto de miocardio incidente (amplifica este riesgo hasta un 5-10% por cada 10 µg/m³), hipertensión arterial y accidente cerebrovascular [28]. Este estudio también encontró las evidencias más sólidas para las asociaciones $PM_{2.5}$ /PM_{10}/NOx con mortalidad cardiovascular, ictus, presión arterial y CI [28].

Los metaanálisis demuestran que las $PM_{2.5}$ explican hasta el 5% de la fracción atribuible poblacional del infarto de miocardio a nivel mundial, y que más de la mitad de las muertes relacionadas con $PM_{2.5}$ son atribuibles a causas cardiovasculares [29, 30].

En lo referente a la tensión arterial, un metaanálisis de 20 estudios confirma que por cada 10 µg/m³ de incremento en $PM_{2.5}$, la presión arterial sistólica aumenta 1,393 mmHg y la diastólica 0,895 mmHg [31].

Los efectos del ozono troposférico en la salud cardiovascular han sido también estudiados. Un estudio sobre 6,4 millones de ingresos hospitalarios en 70 ciudades chinas demostró que un incremento de 10 µg/m³ de ozono se asocia con un aumento del 0,75% de ingresos por IAM, 0,46% por CI, 0,50% por insuficiencia cardíaca y 0,40% por ictus. En días de alta concentración (≥100 µg/m³), el riesgo excedente de IAM aumenta un 6,52% [32].

Además, la exposición a $PM_{2.5}$ incrementa el colesterol total y el LDL, y reduce el HDL. Por cada 10 µg/m³ de aumento en $PM_{2.5}$, el riesgo de diabetes aumenta un 25%. Los mecanismos fisiopatológicos que conectan la polución con las ECV incluyen estrés oxidativo, inflamación sistémica, activación del sistema nervioso autónomo, disfunción endotelial, estado protrombótico y resistencia a la insulina [33].

3.3 Sistema nervioso central

El $PM_{2.5}$ ejerce efectos deletéreos sobre el sistema nervioso central. Las partículas pueden acceder al cerebro a través del nervio olfatorio, de la membrana alvéolo-capilar y del eje intestino-cerebro, donde desencadenan neuroinflamación y estrés oxidativo [34]. Por cada 5 µg/m³ de incremento en $PM_{2.5}$, el riesgo de ictus incidente aumenta un 6,4% (HR 1,064) y la mortalidad por ictus un $1_{2.5}$% (HR 1,125). Además, a corto plazo, un incremento de 10 µg/m³ de $PM_{2.5}$ se asocia con un aumento del 1,29% en las admisiones de urgencias por enfermedad cerebrovascular [35].

La exposición crónica a $PM_{2.5}$ incrementa el riesgo de enfermedad de Alzheimer, enfermedad de Parkinson y demencia. Se ha observado también una correlación positiva débil entre $PM_{2.5}$, NO_2 y NOx con los tumores cerebrales [35]. Los efectos sobre la cognición infantil han sido demostrados en un estudio con 2.715 niños de 7 a 10 años en Barcelona: los escolares de centros con alto tráfico mostraron una menor mejoría cognitiva a lo largo del tiempo [36].

3.4 Salud mental y neurodesarrollo

La contaminación aérea, y en particular el $PM_{2.5}$, se ha asociado con un espectro amplio de trastornos neuropsiquiátricos. Diversos estudios muestran una relación entre la exposición a $PM_{2.5}$ y el desarrollo de depresión, ansiedad, trastornos del espectro autista y deterioro cognitivo [35, 37].

En el caso de la esquizofrenia, cada aumento de un rango intercuartílico en las concentraciones de $PM_{2.5}$, NO_2 y NOx se asocia con hazard ratios de 1,19, 1,22 y 1,09 respectivamente, observándose interacciones aditivas entre la contaminación atmosférica y la susceptibilidad genética. Los metaanálisis demuestran que la exposición a $PM_{2.5}$ incrementa el riesgo de demencia entre un 3-4% por cada aumento de 1-2 µg/m³, siendo las $PM_{2.5}$ procedentes de la agricultura y los incendios forestales las que muestran las asociaciones más fuertes [38, 39].

Además, la exposición prenatal y posnatal temprana a $PM_{2.5}$, NO_2, NOx y ozono se asocia de forma sólida con un mayor riesgo de trastornos psiquiátricos y del neurodesarrollo en niños y adolescentes, incluyendo el trastorno del espectro autista (TEA), el TDAH, la depresión, la ansiedad y las experiencias psicóticas [40, 41].

3.5 Enfermedad renal

La exposición a la contaminación atmosférica explica el 1,9% de las muertes por lesión renal aguda (LRA) atribuibles a $PM_{2.5}$ por encima de las guías de la OMS, siendo la carga global de enfermedad renal crónica (ERC) cercana al 10% de la población y situándose entre las diez principales causas de muerte en el mundo [42, 43].

Los mecanismos fisiopatológicos que vinculan la contaminación atmosférica con la enfermedad renal incluyen el estrés oxidativo, la inflamación sistémica, la disfunción endotelial, la toxicidad tubular y la activación del sistema renina-angiotensina [44-46]. La contaminación atmosférica ambiental, en particular las $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2 y el ozono, se asocia de forma sólida con un mayor riesgo de ERC, LRA, descenso acelerado del filtrado glomerular estimado (FGe) y nefrolitiasis [47-49]. La exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$ (por cada incremento de 10 µg/m³) aumenta la incidencia de ERC en un 31% y el riesgo de enfermedad renal terminal en un 16%, con una caída del FGe del 0,90% para $PM_{2.5}$, del 1,05% para PM_{10} y del 0,43% para NO_2 por cada aumento de 10 µg/m³ [49, 50]. En cuanto a la LRA, la exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$, NO_2 y ozono se asocia con hazard ratios de 1,17 (por cada 5 µg/m³), 1,12 (por cada 10 ppb) y 1,03 (por cada 10 ppb) respectivamente para el primer ingreso hospitalario, con asociaciones que persisten por debajo de los estándares actuales de calidad del aire [51].

La exposición a metales pesados se asocia además de forma independiente con la nefrolitiasis y aumenta la incidencia de cálculos renales entre un 4-5% [45, 52, 53].

3.6 Salud materno-infantil

La exposición prenatal a $PM_{2.5}$, NO_2 y ozono se asocia sólidamente con parto prematuro (+11,5%), bajo peso al nacer (+10,8%), preeclampsia, diabetes gestacional y muerte fetal [54-56]. La placenta es el órgano diana principal: los contaminantes inducen estrés oxidativo y nitrosativo, disfunción endotelial e inflamación que comprometen la función placentaria mediante angiogénesis alterada, invasión trofoblástica deficiente y transporte de nutrientes reducido [57-60]. Además, pueden desencadenar una reprogramación epigenética (metilación del ADN, modificaciones de histonas, microARN) que condiciona efectos transgeneracionales [61, 62].

3.7 Otros sistemas: digestivo, autoinmune y endocrino

Aparato digestivo

La contaminación atmosférica ($PM_{2.5}$, NO_2, ozono) se asocia con enfermedad inflamatoria intestinal (EII), cáncer colorrectal e hígado graso de etiología no alcohólica, con un aumento del riesgo de colitis ulcerosa del 6-12% por cada rango intercuartílico de $PM_{2.5}$ [63, 64].

Las partículas inhaladas alcanzan el tubo digestivo vía aclaramiento mucociliar, alterando el eje intestino-pulmón mediante la rotura de la barrera intestinal (reducción de ocludina y ZO-1), estrés oxidativo y disbiosis [65-68]. Estos cambios, junto con la inflamación sistémica y las alteraciones del redoxlipidoma, contribuyen a la patogénesis de la EII, el cáncer colorrectal y las hepatopatías metabólicas [65, 66].

Reumatología e inmunología

La exposición crónica a $PM_{2.5}$, NO_2 y NOx aumenta el riesgo de artritis reumatoide (AR), lupus eritematoso sistémico (LES) y enfermedades autoinmunes sistémicas, con incrementos del 16-18% para LES con $PM_{2.5}$ y del 27% con NO_2 [69-71].

Sistema endocrino

La contaminación por $PM_{2.5}$ y NO_2 aumenta el riesgo de diabetes tipo 2 en un 39% por cada 10 µg/m³ y la resistencia a la insulina en un 15,6%, mediante activación del AhR, adipogénesis aumentada, alteración del PPARγ y disfunción mitocondrial con modificaciones epigenéticas [31, 72-74]. Para la función tiroidea, la exposición a $PM_{2.5}$ y NO_2 reduce la tiroxina libre (T4L) entre un 0,6-3,9% y eleva la TSH, a través de estrés oxidativo, antagonismo receptor e inhibición de la captación de yoduro con disrupción del eje hipotálamo-hipófisotiroideo [75-78].

4. Conclusiones

La contaminación atmosférica es una amenaza sanitaria transversal: no hay aparato ni sistema del organismo humano que no se vea afectado por la exposición a partículas finas, NO_2 u O_3. Los estándares actuales de calidad del aire, más laxos que las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, siguen sometidos a la presión de la industria del carbón. Reducir la contaminación requiere actuar sobre su causa común con el cambio climático, la quema de combustibles fósiles, y esa es precisamente la vía que el capítulo siguiente aborda como una de las intervenciones de salud pública con mayor impacto potencial del siglo XXI.

Referencias

1. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, et al. Pollution and health: a progress update. Lancet Planet Health. 2022;6(6):e535-e47.
2. Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and airway disease. Clin Exp Allergy. 2011;41(8):1059-71.
3. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, Adeyi O, Arnold R, Basu NN, et al. The Lancet Commission on pollution and health. Lancet. 2018;391(10119):462-512.
4. Perera F, Nadeau K. Climate Change, Fossil-Fuel Pollution, and Children's Health. N Engl J Med. 2022;386(24):2303-14.
5. Institute for Health Metrics and Evaluation. 2019 Global Burden of Disease results tool. 2020. http://ghdx.healthdata.org/gbdresults tool (accessed April 19.
6. Bowatte G, Erbas B, Lodge CJ, Knibbs LD, Gurrin LC, Marks GB, et al. Traffic-related air pollution exposure over a 5-year period is associated with increased risk of asthma and poor lung function in middle age. Eur Respir J. 2017;50(4).
7. Zhang ZQ, Li JY, Guo Q, Li YL, Bao YW, Song YQ, et al. Association between air pollution and allergic upper respiratory diseases: a meta-analysis. Eur Respir Rev. 2025;34(176).
8. Alyami MM, Balharith FH, Ravi SK, Reddy RS. Urban air pollution and chronic respiratory diseases in adults: insights from a cross-sectional study. Front Public Health. 2025;13:1507882.
9. Jung DY, Leem JH, Kim HC, Kim JH, Hwang SS, Lee JY, et al. Effect of Traffic-Related Air Pollution on Allergic Disease: Results of the Children's Health and Environmental Research. Allergy Asthma Immunol Res. 2015;7(4):359-66.
10. Morgenstern V, Zutavern A, Cyrys J, Brockow I, Koletzko S, Kramer U, et al. Atopic diseases, allergic sensitization, and exposure to traffic-related air pollution in children. Am J Respir Crit Care Med. 2008;177(12):1331-7.
11. Gehring U, Wijga AH, Koppelman GH, Vonk JM, Smit HA, Brunekreef B. Air pollution and the development of asthma from birth until young adulthood. Eur Respir J. 2020;56(1).
12. Burbank AJ, Peden DB. Assessing the impact of air pollution on childhood asthma morbidity: how, when, and what to do. Curr Opin Allergy Clin Immunol. 2018;18(2):124-31.
13. Lee SW, Yon DK, James CC, Lee S, Koh HY, Sheen YH, et al. Short-term effects of multiple outdoor environmental factors on risk of asthma exacerbations: Age-stratified time-series analysis. J Allergy Clin Immunol. 2019;144(6):1542-50 e1.
14. To T, Zhu J, Larsen K, Simatovic J, Feldman L, Ryckman K, et al. Progression from Asthma to Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Is Air Pollution a Risk Factor? Am J Respir Crit Care Med. 2016;194(4):429-38.
15. Melen E, Standl M, Gehring U, Altug H, Anto JM, Berdel D, et al. Air pollution and IgE sensitization in 4 European birth cohorts-the MeDALL project. J Allergy Clin Immunol. 2021;147(2):713-22.
16. Anderegg WRL, Abatzoglou JT, Anderegg LDL, Bielory L, Kinney PL, Ziska L. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. Proc Natl Acad Sci U S A. 2021;118(7).
17. Li Y, Sun P, Yin Y, Yu C, Xie D, Wan Z, et al. Global, Regional, and National Burden Attributed to Particulate Matter Pollution, 1990-2021: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. Ann Glob Health. 2026;92(1):22.
18. DeVries R, Kriebel D, Sama S. Outdoor Air Pollution and COPD-Related Emergency Department Visits, Hospital Admissions, and Mortality: A Meta-Analysis. COPD. 2017;14(1):113-21.
19. Zhu RX, Nie XH, Chen YH, Chen J, Wu SW, Zhao LH. Relationship Between Particulate Matter (PM(2.5)) and Hospitalizations and Mortality of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients: A Meta-Analysis. Am J Med Sci. 2020;359(6):354-64.
20. International Agency for Research on Cancer. Outdoor air pollution. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 109. Lyon: IARC; 2016.
21. Chen Y, Yang X, Zhang H, Zhang X, Hu Z, Zhang Z, et al. Effect of Particulate Matter Pollution on Global Lung Cancer Burden: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 1990-2021. Thorac Cancer. 2025;16(21):e70174.

22. Allen A, Schenkenberger I, Trivedi R, Cole J, Hicks W, Gul N, et al. Inhaled fluticasone furoate/vilanterol does not affect hypothalamic-pituitary-adrenal axis function in adolescent and adult asthma: randomised, double-blind, placebo-controlled study. Clin Respir J. 2013;7(4):397-406.
23. Lao S, Li J, Li W, Liang H, Liang W, Li F, et al. Global trends in the burden of tracheal, bronchus, and lung cancer attributable to household air pollution. J Thorac Dis. 2025;17(11):9943-57.
24. Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. N Engl J Med. 2019;381(8):705-15.
25. Rajagopalan S, Landrigan PJ. Pollution and the Heart. N Engl J Med. 2021;385(20):1881-92.
26. Gui C, Xiao Z, Li M, Xu J. Air pollution promotes the onset and progression of cardiovascular-kidney-metabolic syndrome: a nationwide prospective cohort study. BMC Public Health. 2025;25(1):4287.
27. Lelieveld J, Klingmuller K, Pozzer A, Poschl U, Fnais M, Daiber A, et al. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. Eur Heart J. 2019;40(20):1590-6.
28. de Bont J, Jaganathan S, Dahlquist M, Persson A, Stafoggia M, Ljungman P. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. J Intern Med. 2022;291(6):779-800.
29. Brauer M, Casadei B, Harrington RA, Kovacs R, Sliwa K, Group WHFAPE. Taking a Stand Against Air Pollution-The Impact on Cardiovascular Disease: A Joint Opinion from the World Heart Federation, American College of Cardiology, American Heart Association, and the European Society of Cardiology. J Am Coll Cardiol. 2021;77(13):1684-8.
30. Rajagopalan S, Brauer M, Bhatnagar A, Bhatt DL, Brook JR, Huang W, et al. Personal-Level Protective Actions Against Particulate Matter Air Pollution Exposure: A Scientific Statement From the American Heart Association. Circulation. 2020;142(23):e411-e31.
31. Rajagopalan S, Al-Kindi SG, Brook RD. Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. J Am Coll Cardiol. 2018;72(17):2054-70.
32. Jiang Y, Huang J, Li G, Wang W, Wang K, Wang J, et al. Ozone pollution and hospital admissions for cardiovascular events. Eur Heart J. 2023;44(18):1622-32.
33. Bhatnagar A. Cardiovascular Effects of Particulate Air Pollution. Annu Rev Med. 2022;73:393-406.
34. Long MH, Zhu XM, Wang Q, Chen Y, Gan XD, Li F, et al. PM2.5 exposure induces vascular dysfunction via NO generated by iNOS in lung of ApoE-/- mouse. Int J Biol Sci. 2020;16(1):49-60.
35. Li W, Lin G, Xiao Z, Zhang Y, Li B, Zhou Y, et al. A review of respirable fine particulate matter (PM(2.5))-induced brain damage. Front Mol Neurosci. 2022;15:967174.
36. Sunyer J, Esnaola M, Alvarez-Pedrerol M, Forns J, Rivas I, Lopez-Vicente M, et al. Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study. PLoS Med. 2015;12(3):e1001792.
37. Braithwaite I, Zhang S, Kirkbride JB, Osborn DPJ, Hayes JF. Air Pollution (Particulate Matter) Exposure and Associations with Depression, Anxiety, Bipolar, Psychosis and Suicide Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. Environ Health Perspect. 2019;127(12):126002.
38. Zhang B, Weuve J, Langa KM, D'Souza J, Szpiro A, Faul J, et al. Comparison of Particulate Air Pollution From Different Emission Sources and Incident Dementia in the US. JAMA Intern Med. 2023;183(10):1080-9.
39. Abolhasani E, Hachinski V, Ghazaleh N, Azarpazhooh MR, Mokhber N, Martin J. Air Pollution and Incidence of Dementia: A Systematic Review and Meta-analysis. Neurology. 2023;100(2):e242-e54.
40. O'Sharkey K, Mitra S, Chow T, Paik SA, Thompson L, Su J, et al. Prenatal exposure to criteria air pollution and traffic-related air toxics and risk of autism spectrum disorder: A population-based cohort study of California births (1990-2018). Environ Int. 2025;201:109562.
41. Newbury JB, Heron J, Kirkbride JB, Fisher HL, Bakolis I, Boyd A, et al. Air and Noise Pollution Exposure in Early Life and Mental Health From Adolescence to Young Adulthood. JAMA Netw Open. 2024;7(5):e2412169.

42. Hsu CN, Hou CY, Chen YW, Chang-Chien GP, Lin SF, Tain YL. Environmental Nephrotoxicity Across the Life Course: Oxidative Stress Mechanisms and Opportunities for Early Intervention. Antioxidants (Basel). 2025;14(10).
43. Min J, Kang DH, Kang C, Bell ML, Kim H, Yang J, et al. Fluctuating risk of acute kidney injury-related mortality for four weeks after exposure to air pollution: A multi-country time-series study in 6 countries. Environ Int. 2024;183:108367.
44. Lao XQ, Bo Y, Chen D, Zhang K, Szeto CC. Environmental pollution to kidney disease: an updated review of current knowledge and future directions. Kidney Int. 2024;106(2):214-25.
45. Chen Y, Cao F, Xiao JP, Fang XY, Wang XR, Ding LH, et al. Emerging role of air pollution in chronic kidney disease. Environ Sci Pollut Res Int. 2021;28(38):52610-24.
46. Xu W, Wang S, Jiang L, Sun X, Wang N, Liu X, et al. The influence of PM(2.5) exposure on kidney diseases. Hum Exp Toxicol. 2022;41:9603271211069982.
47. Wathanavasin W, Banjongjit A, Phannajit J, Eiam-Ong S, Susantitaphong P. Association of fine particulate matter (PM(2.5)) exposure and chronic kidney disease outcomes: a systematic review and meta-analysis. Sci Rep. 2024;14(1):1048.
48. Liang KH, Colombijn JMT, Verhaar MC, Ghannoum M, Timmermans EJ, Vernooij RWM. The general external exposome and the development or progression of chronic kidney disease: A systematic review and meta-analyses. Environ Pollut. 2024;358:124509.
49. Wu MY, Lo WC, Chao CT, Wu MS, Chiang CK. Association between air pollutants and development of chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ. 2020;706:135522.
50. Li R, Wang K, Li M, Liu H, You Y, Liu D, et al. Association between ambient air pollution and renal function indicators: A comprehensive systematic review and meta-analysis. Environ Res. 2025;286(Pt 2):122841.
51. Lee W, Wu X, Heo S, Kim JM, Fong KC, Son JY, et al. Air Pollution and Acute Kidney Injury in the U.S. Medicare Population: A Longitudinal Cohort Study. Environ Health Perspect. 2023;131(4):47008.
52. Sun Y, Zhou Q, Zheng J. Nephrotoxic metals of cadmium, lead, mercury and arsenic and the odds of kidney stones in adults: An exposure-response analysis of NHANES 2007-2016. Environ Int. 2019;132:105115.
53. Zhao H, Fang L, Chen Y, Ma Y, Xu S, Ni J, et al. Associations of exposure to heavy metal mixtures with kidney stone among U.S. adults: A cross-sectional study. Environ Sci Pollut Res Int. 2023;30(42):96591-603.
54. Nyadanu SD, Dunne J, Tessema GA. Prenatal exposure to ambient air pollution and adverse birth outcomes: an umbrella review of 36 systematic reviews and meta-analyses. Environmental Pollution. 2022;296:118747.
55. Song S, Gao Z, Zhang X. Ambient fine particulate matter and pregnancy outcomes: an umbrella review. Environmental Research. 2023;233:116395.
56. Bekkar B, Pacheco S, Basu R, DeNicola N. Association of Air Pollution and Heat Exposure With Preterm Birth, Low Birth Weight, and Stillbirth in the US: A Systematic Review. JAMA Netw Open. 2020;3(6):e208243.
57. Syama KP, Blais E, Kumarathasan P. Maternal mechanisms in air pollution exposure-related adverse pregnancy outcomes: a systematic review. Science of the Total Environment. 2025;918:170495.
58. Singh S, Goel I, Tripathi S. Effect of environmental air pollutants on placental function and pregnancy outcomes: a molecular insight. Environmental Science and Pollution Research International. 2024;31(30):45255-69.
59. Fussell JC, Jauniaux E, Smith RB, Burton GJ. Ambient air pollution and adverse birth outcomes: a review of underlying mechanisms. BJOG. 2024;131(4):640-51.
60. Singh S, Goel I, Rana A. IGFBP3 repression driven by inflammation links air pollution to placental and developmental defects. EMBO Molecular Medicine. 2026;18(2):e19510.
61. Decrue F, Townsend R, Miller MR, Newby DE, Reynolds RM. Ambient air pollution and maternal cardiovascular health in pregnancy. Heart. 2023;109(18):1406-14.
62. Saenen ND, Martens DS, Neven KY. Air pollution-induced placental alterations: an interplay of oxidative stress, epigenetics, and the aging phenotype? Clinical Epigenetics. 2019;11:124.

63. Estevinho MM, Midya V, Cohen-Mekelburg S. Emerging Role of Environmental Pollutants in Inflammatory Bowel Disease Risk, Outcomes and Underlying Mechanisms. Gut. 2025.
64. Li FR, Wu KY, Fan WD. Long-Term Exposure to Air Pollution and Risk of Incident Inflammatory Bowel Disease Among Middle and Old Aged Adults. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2022.
65. Feng J, Cavallero S, Hsiai T, Li R. Impact of air pollution on intestinal redox lipidome and microbiome. Free Radical Biology & Medicine. 2020;151:38-48.
66. Vignal C, Guilloteau E, Gower-Rousseau C, Body-Malapel M. Review article: epidemiological and animal evidence for the role of air pollution in intestinal diseases. Science of the Total Environment. 2021;754:142129.
67. Van Pee T, Nawrot TS, van Leeuwen R, Hogervorst J. Ambient particulate air pollution and the intestinal microbiome; a systematic review of epidemiological, in vivo and in vitro studies. Science of the Total Environment. 2023;858:159827.
68. Yu X, Qiu Z, Zeng X. Influences of PM2.5 on gut physiology, microbiota and metabolites. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2025;294:115572.
69. Xing M, Ma Y, Cui F. Air Pollution, Genetic Susceptibility, and Risk of Incident Systemic Lupus Erythematosus: A Prospective Cohort Study. Arthritis & Rheumatology. 2024.
70. Xu Y, Pan H, Chen W. Air pollution, emerging chemical exposures, and systemic lupus erythematosus: a meta-epidemiology study. Frontiers in Immunology. 2025;16:1522829.
71. Moghaddam SM, Zhao N, Bernatsky S. Ambient PM2.5 exposure and the incidence of systemic lupus erythematosus: a review. Rheumatic Disease Clinics of North America. 2026;52(1):1-15.
72. Wolf K, Popp A, Schneider A. Association between long-term exposure to air pollution and biomarkers related to insulin resistance, subclinical inflammation, and adipokines. Diabetes. 2016;65(11):3314-26.
73. Dou H, Duan Y, Zhang X. Aryl hydrocarbon receptor (AhR) regulates adipocyte differentiation by assembling CRL4B ubiquitin ligase to target PPARγ for proteasomal degradation. Journal of Biological Chemistry. 2019;294(44):16690-703.
74. Liviero F, Pavanello S. Epidemiological and mechanistic links between PM2.5 exposure and type 2 diabetes: focus on the TRPV1 receptor. Frontiers in Endocrinology. 2025;16:1453052.
75. Liu J, Zhao K, Qian T. Association between ambient air pollution and thyroid hormones levels: a systematic review and meta-analysis. Science of the Total Environment. 2023;869:161822.
76. Li Z, Deng L, Zhang Y. Environmental pollutants as emerging disruptors of thyroid function: mechanisms and early-life risks. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2026;287:115847.
77. Yang K, Zhang G, Li Y. Association between air pollutants, thyroid disorders, and thyroid hormone levels: a scoping review of epidemiological evidence. Frontiers in Endocrinology. 2024;15:1360466.
78. Kim HJ, Kwon H, Yun JM, Cho B, Park JH. Association between exposure to ambient air pollution and thyroid function in Korean adults. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism. 2020;105(8):dgaa338.

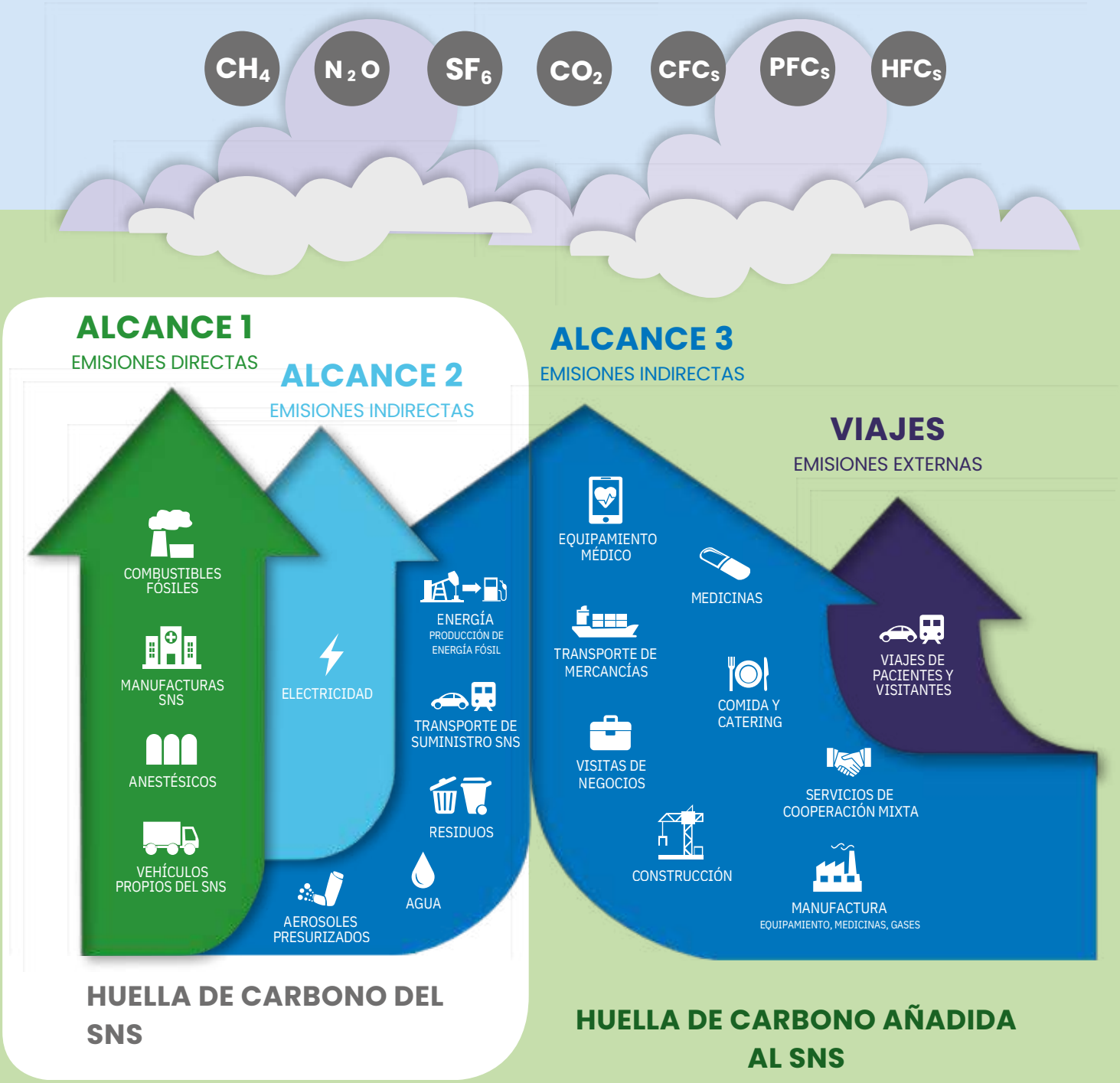


Figura traducida y adaptada de Delivering a 'Net Zero' National Health Service. (https://www.england.nhs.uk/greenernhs/wp-content/uploads/sites/51/2020/10/delivering-a-net-zero-national-health-service.pdf)

CAPÍTULO III

Repercusiones de la actividad sanitaria sobre el cambio climático

El papel benefactor que la sociedad, y el propio Sistema Nacional de Salud (SNS), reconoce al mundo sanitario ha oscurecido su papel como agresor del medio ambiente.

Sin embargo, según los informes del Lancet Countdown sobre Salud y Cambio Climático, el sector sanitario global contribuye aproximadamente el 5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

De esta cifra se ha extrapolado la afirmación de que, si el mundo sanitario global fuese considerado un país, sería el quinto más contaminante.

A pesar de que los hospitales son los máximos emisores dentro del ámbito sanitario, son pocos los que se han preocupado por determinar su huella de carbono, valorar sus emisiones, o cuantificar la calidad y cantidad de sus residuos.

Sin embargo, existe sobrada experiencia acerca de cómo afrontar la descarbonización de los sistemas sanitarios tanto en su conjunto como en servicios concretos[1,2].

1. Determinación de la huella de carbono del SNS.

Se recomienda que las direcciones de ingeniería de cada centro sanitario, dentro de sus planes de gestión, determinen la huella de carbono de la institución siguiendo una serie de pasos: análisis del punto de partida, contribución de cada fuente de emisiones, plazos temporales para disminuir emisiones y financiación.

Es más, deberían hacer un cronograma con fecha límite para alcanzar la tasa de emisiones cero en los escenarios más relevantes. Todo ello, con el convencimiento de que reducir emisiones cuesta dinero y su financiación debe asegurarse, aunque supone un ahorro a medio o largo plazo.

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (PGEI)[3] aborda la estandarización de sus medidas para la mejor comparación entre diferentes instituciones y en aras a la transparencia internacional.

Acorde con su procedencia, el PGEI clasifica las emisiones de cualquier institución, en tres grandes alcances:

- Alcance 1: emisiones de fuentes propias y bajo control directo de la institución.
- Alcance 2: emisiones derivadas del consumo de energía contratada a terceros, con especial atención al consumo eléctrico.
- Alcance 3: emisiones derivadas del conjunto de actividades externas en el transporte de mercancías o servicios.

Aunque las emisiones derivadas de otras empresas o usuarios, ajenos a la institución, pero relacionados con su actividad, no se contabilizan en el alcance 3 del PGEI conviene sumarlas al mismo o contabilizarlas de manera independiente.

Dentro de este último grupo, hay que incluir la parte proporcional que corresponde a la institución sobre las emisiones generadas en la fabricación de equipamientos y fármacos a los que en los concursos públicos conviene exigirles una certificación de su impacto medio ambiental y dar un coeficiente de bonificación relacionado al mismo.

2. La ruta para descarbonizar el SNS

Las acciones en este sentido han de cumplir unos criterios que permitan un compromiso de emisiones cero en una fecha determinada, el National Health Service (NHS) del Reino Unido se ha impuesto el año 2040. Para ello se recomienda hacer una planificación de reducciones periódicas, quinquenales, y bajo las premisas del Acuerdo de París para el Cambio Climático[4].

Los objetivos programados han de ser: urgentes, ambiciosos, posibles, ajustados a las innovaciones y a las directrices gubernamentales.

2.1. La reducción de emisiones de ámbito hospitalario

Los hospitales de nueva construcción han de contar con un proyecto que les permita alcanzar emisiones cero en el plazo que se haya previsto. En el mismo, se ha de prever su capacidad de adaptación a las nuevas tecnologías que se encuentren en desarrollo y tengan futura viabilidad.

Pero, a día de hoy, el mayor esfuerzo se ha de realizar en la reducción de emisiones de los actuales hospitales. La disminución de la huella de carbono de la institución ha de ser contemplada dentro de los planes de gestión de cada institución con acciones concretas, financiadas y a desarrollar en plazos determinados. Se aconseja la creación, o asignación de funciones, a algún órgano técnico para planificar una estrategia común de política hospitalaria en asuntos de eficiencia energética, tales como:

- Iluminación LED 100%.
- Eficiencia en aire acondicionado y climatización.
- Obras de reposición con materiales con eficiencia energética.
- Ventilación.
- Política de centralización de frigoríficos y congeladores.
- Agua caliente.
- Uso de inteligencia artificial para control y monitorización energética.
- Utilización de espacios libres (patios, azoteas…) para la instalación de fuentes de energías renovables.
- Contrato con distribuidoras eléctricas de 100% de energía renovable.

Estas acciones deben implementarse en un plazo corto de tiempo, no más de tres años.

2.2 La reducción de emisiones en el ámbito de la Atención Primaria

Los nuevos Centros de Salud (CS) han de proyectarse con la meta de emisiones cero a la mayor brevedad posible y ajustándose a las necesidades requeridas para nuevas tecnologías de futuro actualmente en desarrollo.

El mayor reto está en acondicionar la actual red nacional de CS para mejorar su aislamiento energético, su iluminación y su climatización. Aparte de estas obras de carácter estructural, la instalación de paneles fotovoltaicos y bombas de aerotermia suponen una importante reducción en la emisión de GEI.

Un grupo de CS debería constituirse cuanto antes como experiencia piloto y monitorizar la evolución de su huella de carbono.

Por otra parte, desde ya, cada CS debería monitorizar su huella de carbono y su evolución anual.

2.3 Movilidad y transportes

Se ha considerado que hasta el 14% de las emisiones del mundo sanitario proceden de los medios de transporte por el desplazamiento de sus pacientes, proveedores y trabajadores del propio centro[5-7]. Para ello, se recomiendan una serie de acciones que implican:

- Los medios de transporte, propios o concertados, del SNS deberán ser 100% eléctricos en un plazo no superior a 10 años comprometiéndose a una implantación gradual dentro de un cronograma.
- Asignar alta valoración en concursos públicos a cualquier empresa concertada que utilice vehículos con emisiones ultra bajas.
- Promover puntos de recarga eléctrica de vehículos en los recintos sanitarios.
- Reducir los viajes innecesarios de pacientes y proveedores, potenciando la actividad on line.
- Incentivar entre los empleados la movilidad no contaminante.
- Declarar, en lo posible, los recintos sanitarios como emisiones cero en movilidad, impidiendo el paso a vehículos de altas emisiones.
- Facilitar el acceso a los centros sanitarios por transporte público o por medios saludables como carril y aparcamiento de bicicletas o vías peatonales.
- Consensuar con las administraciones locales que los transportes públicos que entren en sus recintos sean de bajas emisiones.

Para promover estas acciones se debe exigir un plan de movilidad dentro de los planes de desarrollo estratégico y de gestión convenida.

2.4 Cadena de suministros

Existen análisis globales, y de unidades hospitalarias específicas, que pueden ser útiles como hojas de ruta a seguir para valorar el impacto medioambiental de sus cadenas de suministros [8,9].

El SNS ha de ser consciente del poder que tiene para modular la huella de carbono de sus proveedores, influenciando a través de sus concursos públicos la innovación de los proveedores y la adquisición de productos con menor huella de carbono en su producción, transporte y generación de residuos.

Esta política implica exigir a los proveedores:

- Certificación transparente de su programa de reducción de su huella de carbono.
- Reducción de plásticos de un solo uso.
- Promover el uso de polímeros biodegradables.
- Reducción del uso de papel.
- Reducción del consumo de agua.
- Reciclado de material metálico.
- Reutilización de material.
- Transportes electrificados.

2.5 Alimentos y catering

Los alimentos frescos, de proximidad, kilómetro cero, y de temporada suponen un ahorro importante de emisiones en transporte, almacenamiento refrigerado y embalajes. Esto supone llegar a acuerdos con productores locales para asegurar suministros con la implicación de los servicios de dietética hospitalarios.

3. Medicamentos

Debido al papel curativo que se asigna a los medicamentos, existe la falsa impresión de que la industria farmacéutica es una actividad verde. Por ello, a muchos les sorprende conocer que la industria farmacéutica produce más emisiones de efecto invernadero que la industria de la automoción[10].

En el Reino Unido, los fármacos suponen hasta el 25% de las emisiones del NHS[5]. Cabe suponer que en España este porcentaje sea similar. Las emisiones comprenden su producción industrial, su transporte, su liberación al medio ambiente y sus residuos [11,12].

3.1 Producción industrial de los medicamentos

Dos de los países con mayor producción de fármacos genéricos, China e India, se sitúan entre los más contaminantes del mundo, aunque el primero está reduciendo su huella de carbono de forma acelerada y apostando por las energías renovables. Aunque los fármacos que acceden a Europa cuentan con el aval de la Comisión Europea, a través de la Guía de Normas de Correcta Fabricación[13], esta guía contempla el control de calidad de la fabricación y la trazabilidad de los medicamentos, pero no el impacto medioambiental del proceso.

Es más, muchas de estas fábricas lo son de productos químicos en general y su sensibilidad con la salud pública podría no ser la suficiente.

La intensidad de las emisiones de diferentes empresas farmacéuticas presenta enormes diferencias. En 2015, la más contaminante multiplicaba por siete las emisiones del equivalente de CO_2 de la más limpia[10]. Pero, en los últimos años, grandes corporaciones como GSK y Boehringer Ingelheim han mostrado su compromiso medioambiental diseñando planes para reducir su huella de carbono y apostando por las energías renovables [14,15].

3.2 Transporte y suministro

La lejanía de los fabricantes condiciona el transporte de un gran número de principios activos por vía aérea o marítima que, posteriormente, con frecuencia, se dosifican y se envasan en nuestro país. Para sumar su conjunto de emisiones, debería cuantificarse la huella de carbono de todo este proceso, desde su proceso en la fábrica a su posterior manipulación y traslado a punto final, las farmacias. En el Reino Unido se ha cuantificado que los medicamentos suponen el 25% de las emisiones del NHS. De ese 25%, el 20% se atribuye a su fabricación y a la cadena de transporte y suministro[16].

En este sentido, sería aconsejable promover, en lo posible, la producción de fármacos en territorio nacional, o de contigüidad territorial, y su transporte por vehículos de bajas emisiones.

Asimismo, se recomienda un pasaporte verde de los fármacos que valore su huella de carbono al modo del código de colores de eficiencia energética e incentivar en los concursos públicos a los que generen menos emisiones. Además, a igualdad de eficacia, esta regulación permitiría a los profesionales prescriptores elegir los fármacos de menor huella de carbono frente a los más contaminantes.

3.3 Inhaladores presurizados

Varias enfermedades respiratorias, especialmente el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), se tratan con medicación inhalada a diario y, en la mayoría de los casos, de por vida. Se dispone de cuatro modalidades para su administración: 1) inhaladores presurizados con GEI [pressured metered dose inhaler (pMDI)]. Existen algunos inhaladores presurizados con la especificidad de que se disparan con la inhalación del paciente [breath actuated inhalers (BAI)]; su papel en la emisión de GEI es el mismo que los pMDI y, por tanto, se asimilan a ellos. 2) inhaladores de polvo seco [dry powder inhaler (DPI)], 3) inhaladores de niebla fina [soft mist inhaler (SMI)] y 4) medicación nebulizada por medio de un compresor eléctrico o por oxígeno o aire a presión.

Los pMDI vehiculan el fármaco en gases comprimidos, en estado líquido, de la familia de los hidrofluoralcanos (HFA) también conocidos como hidrofluorocarbonados (HFC). En concreto, se utilizan dos gases: el HFA 134a y el HFA 227.

Ambos tienen un excelente perfil de seguridad humana. Sin embargo, son GEI con alto potencial en el calentamiento del planeta, con una vida en la atmósfera de 14,6 y 36,5 años respectivamente[17,18]. Su larga vida como GEI les dota de un alto poder acumulativo.

Para el HFA 227 se ha calculado que una dosis (dos pulsaciones) tiene un potencial de calentamiento global de 1.300 veces el de la masa equivalente de CO_2 [19]. Se estima que entre el 3,5 y el 4% de la huella de carbono del NHS se debe a los pMDI y que reemplazar un 10% de los pMDI por DPI supondría ahorrar 68,6 $ktCO_2eq$ cada año[20,21]. Por otra parte, un estudio comparativo de la huella de carbono de los pMDI frente a los DPI, incluyendo su huella desde su producción hasta su consumo, encontró que los primeros multiplicaban por 30 la huella de los segundos[22].

Sin embargo, en el último año, las agencias de medicamentos europeas y americanas (EMA y FDA por sus siglas en inglés) han aprobado un propelente con muy baja huella de carbono, existiendo otros aún pendientes de aprobación, por lo que en un futuro muy próximo parece resuelto el inconveniente de los pMDI. No obstante, es posible que exista un proceso de transición en el que existan pMDI con ambos tipos de gases propelentes.

Por ello, y siguiendo la recomendación conjunta del Ministerio de Sanidad y de varias sociedades científicas, tal como se recoge en su documento Prescripción Sostenible de Inhaladores[23],[24], mientras existan inhaladores con gases que supongan un riesgo medioambiental, aconsejamos seguir pautando los que tengan menor huella de carbono, independientemente de que sean pMDI o DPI.

De cualquier forma, como ocurre en cualquier decisión médica, la prescripción debe basarse siempre en criterios clínicos individualizados y en consenso con el paciente, evitando cambios de tratamiento por motivos exclusivamente medioambientales y sin generar estigmatización de quienes utilizan pMDI.

Además, en todo caso, con el objetivo de preservar el medio ambiente, cualquier tipo de inhalador, incluso aunque se encuentre agotado, como cualquier otro medicamento, debe desecharse a través de una farmacia dentro del programa SIGRE.

3.4 Gases anestésicos

Los anestésicos halogenados y el óxido nitroso (N_2O) son potentes gases de efecto invernadero con un alto potencial de calentamiento global (GWP, en sus siglas en inglés). Por ser considerados medicamentos esenciales, no se han sometido a una regulación especial de emisiones medio ambientales. Al no ser metabolizados, se vierten a la atmósfera tras su utilización, donde los halogenados permanecen entre 1 y 14 años y el N_2O 114 años[25].

La escala de GWP compara la contribución al calentamiento global de un gas determinado con la misma masa de CO_2 (CO_2eq) y se relaciona a diferentes periodos de tiempo, siendo 100 años la referencia habitual del órgano internacional de evaluar el conocimiento científico sobre el cambio climático [Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)]. El mayor GWP_{100} lo tiene el desflurano (2.540), seguido del isoflurano (510) y sevoflurano (130)[25]. Esto hace que la huella de carbono del primero sea 15 veces mayor que la del segundo y 20 veces mayor que la del tercero.

Para más fácil entendimiento, una hora de anestesia con desflurano equivale a las emisiones de un coche en un recorrido de 643Km, con isoflurano 29Km y sevofluorano 13Km.

Los anestesistas, a nivel individual, deben:

a) Evitar, en lo posible, el desflurano y el N_2O.
b) Utilizar anestesia con bajo flujo.
c) A ser posible, utilizar anestesia endovenosa o regional[26,27].

Por su parte, las instituciones sanitarias han de procurar incorporar las innovaciones tecnológicas capaces de capturar los gases anestésicos tras su uso para su absorción y, posterior, destrucción o reutilización[28]. Así como valorar nuevos gases anestésicos, como el xenón, sin impacto medio ambiental.

4. Innovación e investigación

El SNS ha de estar conectado con la industria y centros de investigación de excelencia, de forma directa o a través de comisiones mixtas con el MITERD. Todo ello para incorporar innovaciones que tiendan a:

- Sustituir equipamientos desechables por otros reutilizables.
- Disminuir el consumo de plásticos y otros productos con impacto medio ambiental.
- Avanzar en la tecnología de captura de emisiones de carbón.
- Reducir la huella hídrica.
- Ser autosuficiente en fuentes limpias de energía.

Por otra parte, la investigación propia del SNS ha de plegarse también a las normas tendentes a la descarbonización. Se ha calculado que los 350.000 ensayos clínicos registrados en ClinicalTrials.gov emitirán 27,5 millones de toneladas de CO_2eq. Y que la mitad de ellos son ensayos de fármacos que, en el Reino Unido, se ha estimado que suponen la quinta parte de las emisiones de CO_2 del NHS[29]. En este sentido, el Instituto para Investigación en Salud (NIHR) ha publicado una guía para reducción de CO_2[30].

Desde esta perspectiva, los proyectos deben ser priorizados por los comités de ética y por los financiadores.

5. La estrategia y el compromiso en la descarbonización de la sanidad

Una postura inclusiva de todas las personas e instituciones comprometidas, ha de ser la línea estratégica básica en la lucha contra el cambio climático.

El conjunto de la sanidad española ha de ser consciente de las líneas de actuación en su descarbonización que han de incluir un cronograma hacia emisiones cero de CO_2, atendiendo a tres premisas básicas: nuevos modelos de asistencia sanitaria, equipos profesionales eficientes y con capacidad de liderazgo y recursos presupuestarios y financieros.

5.1. Nuevos modelos de asistencia sanitaria

Se debe estimular la asistencia extra hospitalaria de todas aquellas prestaciones que puedan atenderse en la proximidad del ciudadano.

Esta actitud se ha cuantificado en el Reino Unido que ahorra 8,5 millones de km en desplazamientos innecesarios y 1,7 $ktCO_2eq$ cada año[31,32].

Los modelos a seguir han sido propuestos tanto por organizaciones profesionales como universitarias [33,34].

Para conseguir estos objetivos, es necesario:

- Potenciar la educación sanitaria de la población. Especialmente sobre lo urgente, lo no urgente y las vías de acceso a la atención presencial.
- Minimizar las consultas externas hospitalarias.
- Crear centros de diagnóstico rápido extra hospitalarios.
- Implantar el acceso digital de los pacientes a sus documentos administrativos, pruebas analíticas e informes clínicos.
- Habilitar canales digitales de consulta para dudas de los pacientes.
- Potenciar los servicios de urgencias de cercanía y el triaje telefónico.

5.2 Equipos profesionales eficientes y con capacidad de liderazgo

La estandarización de las decisiones diagnósticas, mediante evaluación de resultados, no solo mejora la atención médica, sino que reduce el despilfarro económico, lo que se traduce en una notable disminución de las emisiones de CO_2.

Para este objetivo será necesario potenciar o crear agencias nacionales de evaluación tecnológica y procesos asistenciales comunes, basados en el benchmarking y la evidencia clínica, que destierren prácticas ineficientes, al estilo de la agencia británica National Institute for Health and Care Excellence (NICE)[35] y el programa Getting It Right First Time (GIRFT)[36].

Aunque a la mayoría de los médicos españoles se les supone una alta sensibilización ante el cambio climático, la inercia asistencial suele generar reticencias ante nuevas actitudes diagnósticas y terapéuticas que, a veces, se interpretan como puramente burocráticas. Hay que contar con estas reticencias, afrontarlas y encauzarlas. En este sentido, las instituciones han de crear órganos con liderazgo personal, formación y dedicación preferente, que planifiquen y conduzcan hacia los nuevos hábitos. Estos órganos estarían obligados a un informe anual de seguimiento de indicadores y consecución de objetivos.

Estos objetivos serán difícilmente alcanzables con la única intervención de la administración sanitaria y sin la participación activa del mundo profesional, representado en los Colegios de Médicos y las Sociedades Científicas. El ámbito administrativo y el ámbito profesional deben interrelacionarse a través de vías fluidas, de forma que cada uno entienda cuál es su papel.

5.3 Recursos presupuestarios y financieros

El compromiso con la descarbonización sanitaria ha de contemplar grandes inversiones para objetivos concretos que afectan a: construcción de nuevos hospitales o acondicionamiento de los existentes y reposición de grandes equipamientos que mejoren la eficiencia energética.

Por otra parte, la inversión va más allá de obras y equipamientos. Se precisa financiar las agencias y grupos responsables de las grandes tomas de decisiones tendentes a promover el cambio de comportamiento de los profesionales.

Además, hay que explorar e innovar en inversiones alternativas a través de otros inversores y fondos. Dentro de los concursos públicos, incentivar la más baja huella de carbono entre todas las ofertas.

No obstante, la transición hacia un sistema de salud sostenible no está exenta de obstáculos. Las dificultades financieras, el marco regulatorio y la ineludible necesidad de mantener estrictos estándares de seguridad e higiene dificultan su rápida puesta en marcha. Pero, a medida que avanzan las tecnologías verdes y aumenta la conciencia ciudadana, las organizaciones del mundo sanitario estarán más capacitadas para transitar a un ámbito descarbonizado[37].

El consejo médico, por su prestigio y credibilidad social, es una magnífica herramienta de concienciación ciudadana y así lo reconoce la OMS y otras organizaciones de referencia en el mundo sanitario[38,39].

El apoyo de los médicos y otros profesionales de la salud es esencial para exigir a las administraciones públicas que afronten estos desafíos y patrocinen una cultura de sostenibilidad. En este sentido se posiciona la Alianza Médica por la Salud Planetaria [40].

Referencias

1. FBraithwaite J, Smith CL, Leask E, Nic Giolla Easpaig B, Arnolda G, Ludlow K, et al. Strategies and tactics to reduce the impact of healthcare on climate change: systematic review. BMJ. 2024;387:e081284.
2. Radbel J, Brigham E, Bayram H, Peden DB, Phipatanakul W, Carlsten C, et al. Strategies to meaningfully reduce healthcare sector emissions in pulmonary, critical care, and sleep practice. Ann Am Thorac Soc. 2026;aaoag055.
3. World Business Council for Sustainable Development, World Resources Institute.
4. The Greenhouse Gas Protocol: a corporate accounting and reporting standard (revised edition).2015. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf
5. NHS Sustainable Development Unit. Reducing the use of natural resources in health and social care. 2018.
6. Okeowo B, Dixon J, Entwistle JA, Bramwell L, Crilley LR, Mohamad N, et al. Cleaner air, healthier hospitals: implementing the UK's Clean Air Hospital Framework. J Environ Manage. 2025;391:126468.
7. Olsen JR, Nicholls N, Tran TQB, Jani BD, Nicholl BI, Lyons RA, et al. Transition towards healthcare 'net zero': modelling condition-specific patient travel carbon emission estimations by transport mode in a retrospective population-based cohort study, Greater Glasgow, UK. BMJ Open. 2025;15(11):e107016.
8. Kouwenberg LHJA, Cohen ES, Hehenkamp WJK, Tan ECTH, Geubbels ELPE, Stronks K, et al. The carbon footprint of hospital services and care pathways: a state-of-the-science review. Environ Health Perspect. 2024;132(12):126002.
9. Hemberg L, Singh J, Bentzer P. A process-based life cycle assessment of the climate impact of a Swedish intensive care unit. Sci Rep. 2025;15(1):19435.
10. Lotfi Belkhir, Ahmed Elmeligi. Carbon footprint of the global pharmaceutical industry and relative impact of its major players. Journal of Cleaner Production 2019;214:185-194.
11. Zheng RR, Roy C, Dumont Z. The environmental price tag of medications: pharmacists' perspective on the medication life cycle. J Am Pharm Assoc (2003). 2026;66(2):103031.
12. Egaña I, Akhrimenko V, Ayerbe M, Blanco-Reina E, Arroyo R, Ocaña-Riola R. Promoting sustainable pharmacy for tackling environmental pharmaceutical pollution. Drug Discov Today. 2025;104559. https://ec.europa.eu/health/sites/default/files/files/eudralex/vol-4/vol4-chap1_2013-01_en.pdf
13. M.F. Eshkiki, M. Homayounfar, Green supply Chain in medicine. Studies in Systems, Decision and Control, 2024, https://doi.org/10.1007/978-3-031-46735-6_11.
14. H. Khan, S. Gupta, V. Kumar, B. Kumar, Managing climate change risks and creating stakeholders' _value via sustainability-focused B2B brand strategies, Ind. Mark. Manag. 115 (2023), https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2023.09.017.
15. https://www.england.nhs.uk/greenernhs/wp-content/uploads/sites/51/2020/10/delivering-a-net-zero-national-health-service.pdf
16. Paul B. Myrdal, Poonam Sheth and Stephen W. Stein Advances in Metered Dose Inhaler Technology: Formulation Development. AAPS PharmSciTech, Vol. 15, No. 2, (434-455) April 2014.
17. McCulloch A. CFC and halon replacements in the environment. J Fluor Chem. 1999;100(1):163–73.
18. Harish Kumar Jeswani, Adisa Azapagic. Life cycle environmental impacts of inhalers. Journal of Cleaner Production 237 (2019) 117733 https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/141949663/Environmental_impacts_of_inhalers.pdf https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117733
19. Hillman T, Mortimer F, Hopkinson NS. Inhaled drugs and global warming: time to shift to dry powder inhalers. BMJ. 2013;346:f3359. https://doi.org/10.1136/bmj.f3359

20. Wilkinson AJK, Braggins R, Steinbach I, Smith J. Costs of switching to low global warming potential inhalers. An economic and carbon footprint analysis of NHS prescription data in England. BMJ Open. 2019;9:e028763. https://bmjopen.bmj.com/content/bmjopen/9/10/e028763.full.pdf
21. Janson C, Henderson R, Löfdahl M, Hedberg M, Sharma R, Wilkinson AJK. Carbon footprint impact of the choice of inhalers for asthma and COPD. Thorax. 2020;75:82-84. https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2019-213744.
22. https://www.sussexccgs.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/08/East-Sussex-Green-Inhaler-Guide_Final_2.pdf
23. Ministerio de Sanidad (España). "Prescripción sostenible de inhaladores". Versión 1.0, 17 de febrero de 2025. https://www.sanidad.gob.es/gabinetePrensa/notaPrensa/pdf/Presc170225133233126.pdf
24. Mads P. Sulbaek Andersen, Ole J. Nielsen, Timothy J. Wallington, Boris Karpichev and Stanley P. Sander. Assessing the Impact on Global Climate from General Anesthetic Gases. Anesth Analg 2012;114:1081–5.
25. Forbes McGain, Jane Muret, Cathy Lawson and Jodi D. Sherman. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. British Journal of Anaesthesia, 125 (5): 680e692 (2020)
26. https://www.asahq.org/about-asa/governance-and-committees/asa-committees/committee-on-equipment-and-facilities/environmental-sustainability/greening-the-operating-room
27. Hina Gadani and Arun Vyas. Anesthetic gases and global warming: Potentials, prevention and future of anesthesia. Anesth Essays Res. 2011; 5(1): 5–10. doi: 10.4103/0259-1162.84171
28. Fiona Adshead, Rustam Al-Shahi Salman, Simon Aumonier, Michael Collins, Kerry Hood, Carolyn McNamara, Keith Moore, Richard Smith, Matthew R Sydes, Paula R Williamson. A strategy to reduce the carbon footprint of clinical trials. The Lancet 2021;398:281-2.
29. National Institute for Health Research. NIHR carbon reduction guidelines. 2019. https://www.nihr.ac.uk/documents/the-nihr-carbon-reduction-guidelines/21685 (accessed June 16, 2021).
30. https://www.england.nhs.uk/publication/rapid-diagnostic-centres-vision-and-2019-20-implementation-specification/
31. Getting It Right First Time. Getting it right in orthopaedics: Reflecting on success and reinforcing improvement. 2020.
32. Gaudreau-Simard M, Shetty N, Silverstein WK, Luo OD, Stoynova V. Eight ways general internists can practice high-value, low-carbon care: the Canadian Society of Internal Medicine's climate conscious Choosing Wisely Canada recommendations. J Gen Intern Med. 2025;40(7):1609-16.
33. Marty-Chastan C, Brindis CD, Weiser SD, Patel AI, Rabow MW, Kahn JG. Implementing clinical decarbonization actions: lessons learned from the University of California Health System. Jt Comm J Qual Patient Saf. 2025;S1553-7250(25)00243-0.
34. https://www.nice.org.uk/
35. https://www.gettingitrightfirsttime.co.uk/.
36. Olawade DB, Popoola TT, Egbon E, David-Olawade AC. Sustainable healthcare practices: pathways to a carbon-neutral future for the medical industry. Sustainable Futures. 2025;9:100783. doi:10.1016/j.sftr.2025.100783.
37. COP26 special report on climate change and health: the health argument for climate action. Geneva: World Health Organization; 2021.
38. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/346168/9789240036727-eng.pdf?sequence=1
39. Renee N. Salas. The Climate Crisis and Clinical Practice. N Engl J Med. 2020:382;589-91.
40. https://www.amesap.org/

CAPÍTULO IV

La transición energética como intervención de salud pública

1. Introducción

Ante la amenaza que representan los combustibles fósiles, la transición energética acelerada hacia fuentes renovables no debe concebirse meramente como una política medioambiental para el cumplimiento del Acuerdo de París, sino como la intervención de salud pública más urgente, directa y eficaz a disposición de los gobiernos [1, 2]. La salud planetaria engloba inherentemente las medidas que son beneficiosas para la salud del planeta y para la salud humana. Toda medida encaminada a la reducción de los gases de efecto invernadero y la polución redunda de forma directa en la salud de la población y del planeta. Por lo tanto, las medidas de salud pública deberían incluir de forma obligatoria una transición energética hacia formas renovables y no contaminantes de producir energía. Para ello, la electrificación se hace imprescindible.

2. Negacionismo, retardismo y greenwashing de la industria fósil

Al igual que en el caso del tabaco, la industria de los combustibles fósiles ha desarrollado campañas de negacionismo prolongadas que han retrasado medidas regulatorias beneficiosas para la salud de la población y del planeta. Las sucesivas Conferencias de las Partes (COP) no nombraron los combustibles fósiles hasta 2021, cuando se consensuó una respuesta limitada centrada en el carbón, sin mención expresa al petróleo. Esta llegó en 2023, pero desde entonces las subvenciones y la extracción de petróleo han alcanzado máximos históricos.

La persistencia del uso de combustibles fósiles no proviene de la ignorancia técnica, sino de una estrategia deliberada y financiada por la industria del petróleo, el gas y el carbón para proteger un modelo de negocio incompatible con la salud global. Documentos internos desclasificados han demostrado que compañías como Exxon Mobil disponían desde la década de 1970 de modelos climáticos precisos que anticipaban el calentamiento que sus productos provocarían.

En lugar de alertar a la sociedad o diversificarse hacia fuentes de energía sin emisiones, la industria fósil adoptó el “manual de tácticas” (playbook) desarrollado previamente por la industria tabaquera, basado en la desinformación y el negacionismo [2]. Esto incluyó la contratación de grupos de lobby, la financiación de investigaciones sesgadas y la fabricación de controversia dentro de la comunidad científica y de la opinión pública. Ante la consistencia actual de la evidencia, estas estrategias han evolucionado hacia el retardismo y hacia formas aparentes de colaboración que, en la práctica, constituyen un ejercicio de greenwashing. Entre las técnicas más habituales figuran trasladar la responsabilidad al ciudadano mediante el concepto de “huella de carbono individual”, alimentar el miedo a la pérdida de empleos o al encarecimiento de la energía, y presentar como soluciones compatibles con la extracción alternativas como la producción de hidrógeno a partir de metano o la captura y almacenamiento de carbono, que no han demostrado viabilidad ni escalabilidad y cuyos costes de oportunidad son muy elevados [2].

3. Descarbonización eléctrica y electrificación sectorial

La descarbonización de la economía genera enormes beneficios sanitarios y medibles a corto plazo. La evidencia empírica recopilada en el Lancet Countdown Europe 2026 demuestra este principio de manera irrefutable [3]. En los países de la Unión Europea, gracias a las políticas de transición y al cierre progresivo de plantas térmicas de carbón, la mortalidad prematura atribuible a la exposición a $PM_{2.5}$ procedente del sector eléctrico disminuyó un 84% entre los años 2000 y 2022 [3] (Figura 1). Es crucial notar que, durante este mismo período, las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) de dicho sector disminuyeron en mucha menor medida, un 34%. Esta diferencia estadística demuestra que la eliminación de la quema de combustibles sólidos salva miles de vidas de forma inmediata al mejorar la calidad del aire local, mucho antes de que se perciban los efectos globales de la reducción del CO_2 sobre el clima.

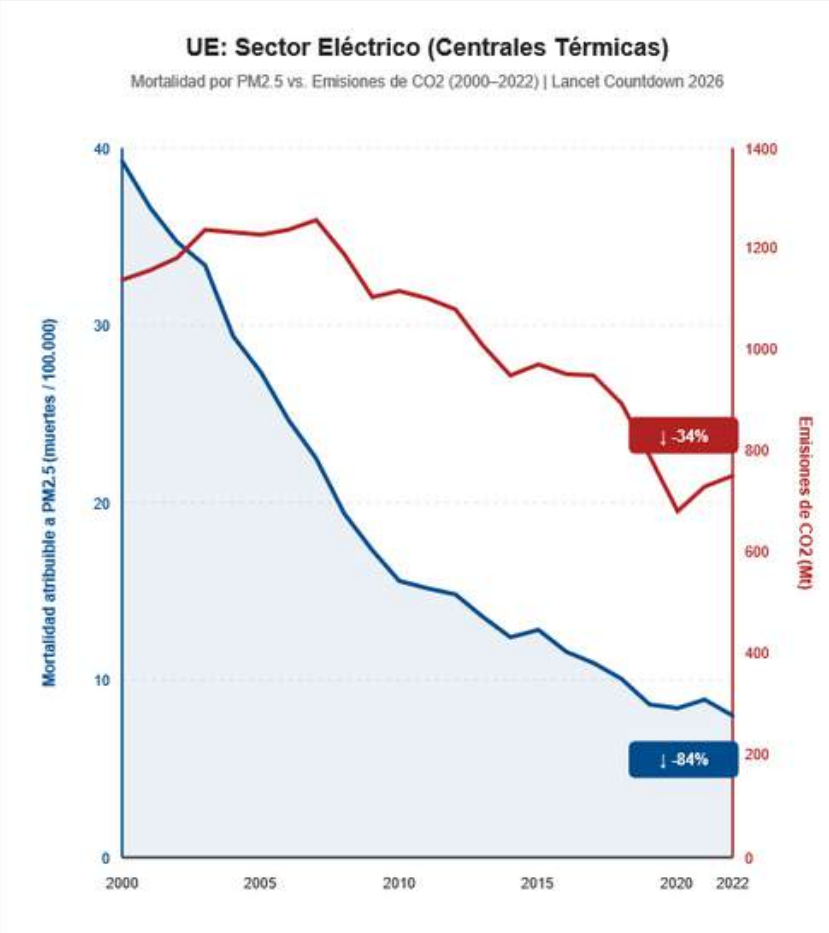


Figura 1: Mortalidad atribuible a la exposición a $PM_{2.5}$ y emisiones de CO_2 en el sector de generación eléctrica (centrales térmicas) en la Unión Europea (2000–2022). La línea azul y el área sombreada (eje izquierdo) representan la tasa de mortalidad atribuible a partículas finas $PM_{2.5}$ expresada en muertes por cada 100.000 personas. La línea roja (eje derecho) representa las emisiones de dióxido de carbono expresadas en millones de toneladas (Mt). Adaptada de Kriit et al [3].

En el sector del transporte, la introducción de controles de emisiones y normativas de eficiencia logró reducir las muertes por $PM_{2.5}$ en un 58% en la UE, a pesar de que las emisiones de CO_2 del transporte por carretera permanecieron estancadas, enfatizando el valor de intervenir en la fuente del problema.

El caso de España ilustra nítidamente esta transición: nuestro país ha abandonado su dependencia histórica del carbón, reduciendo la cuota de este combustible en la generación eléctrica en un 12,1% entre 2016 y 2023. Simultáneamente, la inversión en energías limpias ha impulsado la participación de las renovables hasta rozar el 40% del suministro eléctrico nacional en 2023 (Figura 2). Como consecuencia de estas medidas de mitigación, las muertes atribuibles al $PM_{2.5}$ originado específicamente en las centrales eléctricas españolas han disminuido un 97% desde el año 2000.

Estos datos muestran claramente los beneficios de una transición energética que abandone los combustibles fósiles y su combustión hacia la electrificación y las energías renovables.

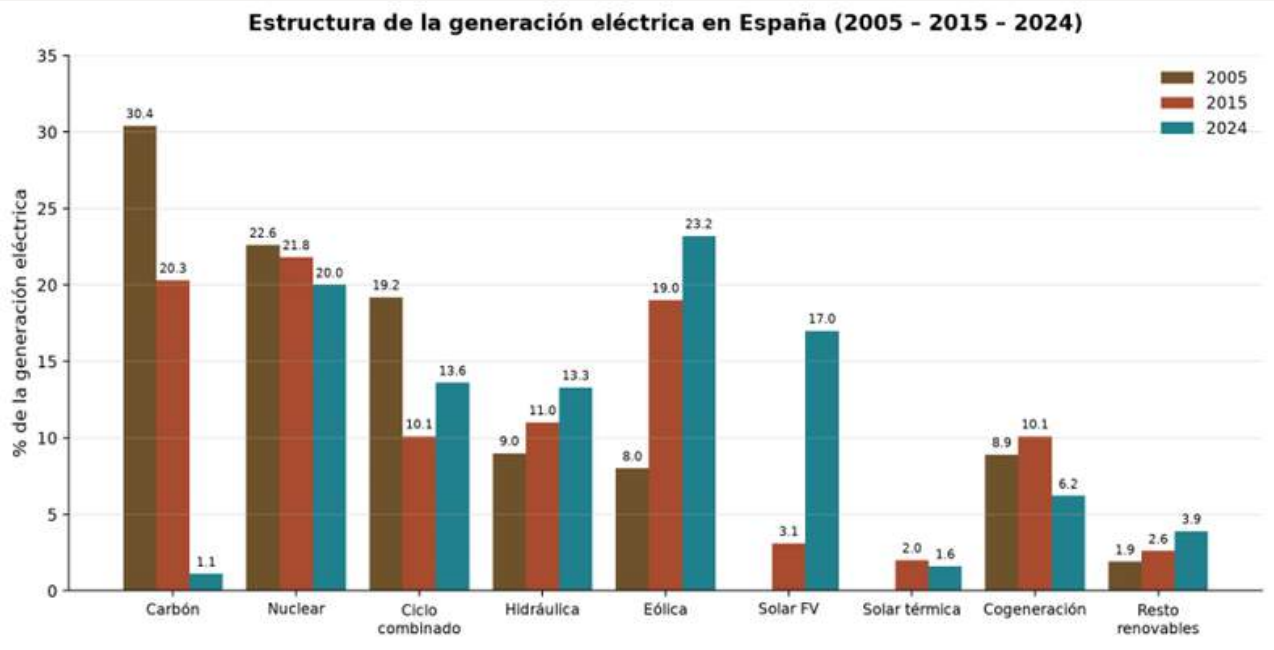


Figura 2. Estructura porcentual de la generación eléctrica en España, 2005 – 2015 – 2024. Elaboración propia con datos de REE.

3.1. La escala urbana: ciudades españolas al frente

El impacto sanitario de la contaminación atmosférica se concentra en el medio urbano. En 2023, más de la mitad de la población española (25,8 millones sobre 48,1) vivía en 98 ciudades, y cerca del 40% de la población urbana lo hacía en Madrid, Barcelona y Valencia. Uno de cada tres residentes urbanos era mayor de 65 años o menor de 15, es decir, población especialmente vulnerable a los efectos combinados del calor y de la contaminación [3].

El Lancet Countdown Europe 2026 documenta en sus datos por ciudad los cobeneficios sanitarios de la descarbonización eléctrica en España: desde el año 2000, la mortalidad prematura por $PM_{2.5}$ atribuible a centrales térmicas ha caído un 93,9%, y la mortalidad global por $PM_{2.5}$ en las ciudades españolas se ha reducido un 62,6% hasta 2023 [3]. Pamplona ejemplifica este avance: entre 2000 y 2023 evitó 156,2 muertes prematuras por 100.000 habitantes atribuibles a $PM_{2.5}$ (una reducción del 78%), la mayor caída del país.

En el otro extremo, Torrelavega mantiene en 2023 la tasa más alta (144,4 por 100.000), con el transporte como principal fuente sectorial (48% de las muertes por $PM_{2.5}$) [3] (Figura 3).

El transporte urbano es hoy la palanca más clara para consolidar estas ganancias. Los datos por ciudad muestran que el Score de Transporte Sostenible medio en España fue 5,3 sobre 10 en 2022, por debajo del umbral recomendado (7/10); la infraestructura ciclista dedicada apenas cubría el 11% de las vías, y solo un 9,4% de los carriles bici tenía sombra arbolada, un factor determinante para su uso seguro en olas de calor cada vez más frecuentes [3]. Ciudades como Vitoria-Gasteiz (−87% de emisiones per cápita del sector energético entre 2000 y 2024) demuestran que la planificación climática municipal integrada, sostenida durante más de una década, produce mejoras acumulativas y medibles[3].

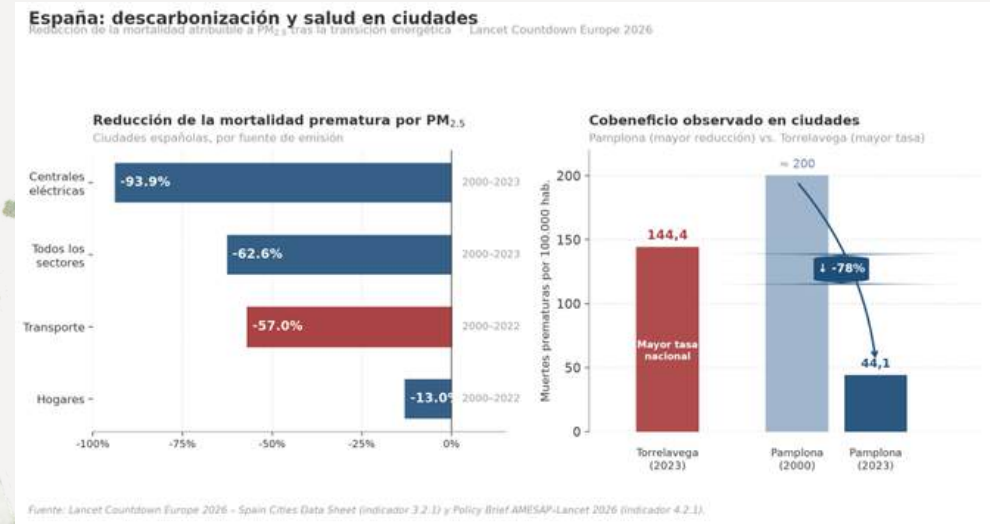


Figura 3. Reducción de la mortalidad prematura atribuible a $PM_{2.5}$ en ciudades españolas por fuente de emisión (2000–2023), y caso comparativo Pamplona vs. Torrelavega. Elaboración propia con datos del Lancet Countdown Europe – Spain Cities Data Sheet 2026 y del Policy Brief AMESAP–Lancet 2026.

Tecnología	2005 (% pen.)	2015 (% pen.)	2024 (% nac.)	2025 (% nac.)
Carbón	≈ 30 %	20,3%	1,1%	≈ 1 %
Nuclear	≈ 22,6 %	21,8%	20,0%	19,0%
Ciclo combinado (gas)	≈ 19,2 %	10,1%	13,6%	16,8%
Hidráulica	≈ 9,0 %	11,0%	13,3%	12,4%
Eólica	≈ 8,0 %	19,0%	23,2%	21,6%
Solar fotovoltaica	< 0,1 %	3,1%	17,0%	18,4%
Solar térmica	0%	2,0%	1,6%	—
Cogeneración	≈ 8,9 %	10,1%	6,2%	—
Renovables totales	≈ 19 %	36,9%	56,8%	55,5%

Tabla 1. Sectorización de la producción energética en España. Datos sacados de Red Eléctrica Española.

4. Marco político y económico: subvenciones, cooperación internacional y transición justa

Desde el punto de vista macroeconómico, la dependencia de los combustibles fósiles representa una carga muy elevada. Se estima que las muertes y la morbilidad inducidas por la contaminación del aire cuestan a la economía mundial aproximadamente 8,1 billones de dólares anuales (el 6,1% del PIB global de 2019) en gastos de hospitalización, bajas por enfermedad, pérdida de productividad laboral y costes sobre los sistemas de asistencia social [2]. El cambio climático añade daños considerables adicionales por la pérdida de infraestructuras derivada de desastres naturales y la caída de la producción agrícola en Europa [3].
A pesar de estos costes externos que recaen sobre la ciudadanía y la salud pública, los gobiernos continúan subvencionando activamente la raíz del problema. En 2022, las subvenciones mundiales a los combustibles fósiles alcanzaron los 7 billones de dólares [2]. En Europa, y en un contexto marcado por la crisis energética asociada a la guerra en Ucrania, las subvenciones netas a los combustibles fósiles en 2023 alcanzaron un máximo histórico de 444.000 millones de euros. Esta cifra superó ampliamente los ingresos que los gobiernos europeos recaudaron a través de los precios del carbono (montante económico que pagan las empresas por el exceso de carbono que producen, aproximadamente 79.100 millones de euros).

La distorsión fiscal es tal que, en doce países europeos, las subvenciones a los combustibles fósiles superaron el 10% del gasto nacional en sanidad, y en cuatro países sobrepasaron la totalidad de los presupuestos destinados al sistema de salud [3]. Resulta económicamente incoherente financiar con fondos públicos la misma actividad que después desborda las urgencias hospitalarias de neumología y cardiología.

En España, esta contradicción fiscal alcanza magnitudes elevadas. El Lancet Countdown Europe 2026 estima que en 2023 los ingresos nacionales por precios del carbono ascendieron a unos 4.000 millones de euros, mientras las subvenciones a los combustibles fósiles superaron los 10.300 millones, arrojando un saldo neto negativo de aproximadamente −6.300 millones de euros [3]. Esta cifra representa recursos públicos que refuerzan una actividad económica cuyo impacto sanitario recae después sobre el propio Sistema Nacional de Salud.

En paralelo, España dispone de una arquitectura política sólida sobre la que apoyar la transición: el Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente (PESMA), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), los Planes Nacionales de Calor y de Frío —este último recientemente aprobado en 2026—, los sistemas de vigilancia de enfermedades transmitidas por vectores y de monitorización del polen alergénico configuran un marco coherente [5]. La eficacia de esta arquitectura depende ahora de una financiación sostenida, de una mejor coordinación entre niveles de gobierno y de indicadores compartidos con rendición de cuentas pública anual.

El propio sector sanitario forma parte de esta ecuación. La huella de carbono del Sistema Nacional de Salud español se estimó en 357 kg de CO2 equivalente por persona en 2022, un 19,8% menos que los 445 kg de 2010[5]. Comunidades como Galicia, con su estrategia formal de descarbonización del Servizo Galego de Saúde, y Canarias, con el Programa Salud Zer0 Emisiones netas 2030, demuestran que el sector sanitario puede reducir su huella ambiental al tiempo que refuerza su resiliencia clínica y asistencial [5]. Extender de forma coordinada esta lógica a todas las Comunidades Autónomas es hoy una prioridad de política sanitaria.

Para intentar buscar una salida a los combustibles fósiles, en 2026 se celebró en Santa Marta (Colombia) la primera conferencia internacional específicamente dedicada a la transición energética limpia, con la participación de 57 países comprometidos con una salida ordenada de su uso (España entre ellos). En su conjunto, estos países suponen un tercio del PIB mundial, el 30% de la demanda de petróleo y el 20% de su producción. Aunque el acuerdo no es jurídicamente vinculante, marca un camino claro: impulsa hojas de ruta nacionales y regionales y aborda de forma explícita la reducción progresiva de las subvenciones a la industria fósil. Este marco constituye una referencia política y sanitaria de primer orden para articular la transición energética como una intervención de salud pública global.

5. Conclusiones y llamada a la acción médica

La evidencia muestra claramente cómo la extracción y la quema de combustibles fósiles y sus derivados son las principales responsables del cambio climático y de la polución ambiental. El impacto sanitario que tiene esta actividad se cuenta por millones de muertes cada año. La responsabilidad ética de los médicos obliga a identificar a estos como los agentes más dañinos para la salud pública mundial y actuar en consecuencia [4]. La descarbonización de la sociedad, tal y como apunta el reporte final de la reunión de Santa Marta, aportaría un quíntuple beneficio: comunidades con mejor salud pulmonar y cardiovascular, seguridad e independencia energética, ecosistemas más limpios, sistemas de salud menos colapsados y la estabilización de la temperatura global.

En el sector médico se presenta ya un reconocimiento claro del impacto del cambio climático en la salud de los enfermos, pidiendo una mayor acción política para paliar su impacto [5]. Existe un mandato ético y de posición institucional para que los clínicos aconsejen medidas de sostenibilidad en consulta, incluyendo la energía renovable y la evitación de la quema de combustibles fósiles, lo cual redunda en beneficios para la salud humana y planetaria. Esta comunicación está además bien valorada por los pacientes y está científicamente comprobado que puede promover cambios en la actitud de estos hacia prácticas más sostenibles para la salud [6-10].

En este marco, la Alianza Médica por la Salud Planetaria (AMESAP), junto con el Lancet Countdown Europe, ha publicado el Policy Brief «Salud y Clima en España» dirigido específicamente a los responsables de política pública [5]. El documento sintetiza la evidencia disponible en cinco recomendaciones que la profesión médica española asume como propias:

1. Integrar la salud en toda la política climática. Situar la salud como criterio explícito en todas las políticas de mitigación y adaptación, con liderazgo conjunto de los Ministerios de Sanidad y de Transición Ecológica.

2. Renovar el PESMA con mayor coordinación y rendición de cuentas. Alinear el PESMA con los planes frente al calor, la vigilancia de vectores y la monitorización del polen alergénico, con financiación estable, objetivos medibles y rendición de cuentas pública anual.

3. Reforzar la coordinación con las Comunidades Autónomas. Apoyar evaluaciones de vulnerabilidad y programas estratégicos de clima y salud con indicadores compartidos e informes anuales, para reducir las brechas territoriales.

4. Acelerar la descarbonización del sistema sanitario y su transición hacia la sostenibilidad. Ampliar la descarbonización de infraestructuras, compras y práctica clínica, y reforzar la formación en clima y salud de los profesionales sanitarios.

5. Priorizar a las poblaciones vulnerables. Aplicar medidas de adaptación y prevención con enfoque de equidad para personas mayores, niños, mujeres embarazadas, trabajadores al aire libre, pacientes con enfermedades crónicas y poblaciones socialmente vulnerables.

Estas recomendaciones son coherentes con la Declaración Europea sobre Salud y Calor y con los marcos internacionales de la Alianza para la Acción sobre el Cambio Climático y la Salud (ATACH) de la OMS. El mensaje central es sencillo: la protección de la salud es el argumento más claro para actuar contra el cambio climático, y sitúa a los profesionales sanitarios en una posición singular para exigir políticas ambiciosas y evaluar sus resultados en términos de morbilidad y mortalidad evitables [5.]

Los médicos tenemos un compromiso ineludible en la lucha climática por la salud de nuestros pacientes, y eso pasa obligatoriamente por identificar la causa del daño y reducirla en la medida de lo posible.

Referencias

1. IPCC CCI, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
2. Rudolph L, Surapaneni VL. Clearing the Smoke on Fossil Fuels - The Health Imperative for a Countermarketing Campaign. N Engl J Med. 2025;392(16):1563-5.
3. Kriit HK, Chen-Xu J, Semenza JC, Heiliger H, Markandya A, Dasandi N, et al. The 2026 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: narrowing window for decisive health action. Lancet Public Health. 2026;11(6):e386-e407.
4. Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos de España. Informe de la Comisión Central de Deontologíe del CGCOM. 2022.
5. Lancet Countdown in E. Spain: 2026 Climate and Health Policy Brief for the Lancet Countdown on Health and Climate Change. London, United Kingdom: Lancet Countdown in Europe; 2026 2026/06.
6. Wiskel T, Miles TT, Fonteyn M, Stevens K, Heberlein C, Matthews-Trigg N, et al. Frontline clinic perspectives on climate change, human health, and resilience: a national cross-sectional survey. BMC Prim Care. 2024;25(1):399.
7. Igarashi NH, Suzuki S, Cahill E, Shimabukuro A, Sugawara J, Hashizume M. Knowledge, attitudes, and practices of Japanese physicians relating to climate change impacts on health, delivery of climate-specific advice, and advocacy for climate change policies. Journal of Public Health. 2026;34(4):789-99.
8. Maibach EW, Nisbet M, Baldwin P, Akerlof K, Diao G. Reframing climate change as a public health issue: an exploratory study of public reactions. BMC Public Health. 2010;10:299.
9. Nitschke M, Krackowizer A, Hansen AL, Bi P, Tucker GR. Heat Health Messages: A Randomized Controlled Trial of a Preventative Messages Tool in the Older Population of South Australia. Int J Environ Res Public Health. 2017;14(9).
10. Quitmann C, Griesel S, Nayna Schwerdtle P, Danquah I, Herrmann A. Climate-sensitive health counselling: a scoping review and conceptual framework. The Lancet Planetary Health. 2023;7(7):e600-e10.

Equipo redactor:

Pedro Cabrera Navarro
Secretario general de la Alianza Médica por la Salud Planetaria

Carlos Cabrera López
Presidente de la Federación Temática por una Medicina Verde y Sostenible (Unión Europea de Médicos Especialistas)

9 788409 901319

six4health.com

Six4health

amesap.org

AMESAP

Con el apoyo de:

GSK

Boehringer Ingelheim

DIAVERUM

CRIOGES
BIOSEGURIDAD SANITARIA POR FRIO