

GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE

SERIE
DE AERIBUS, AQUIS ET LOCIS Nº3



GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE

SERIE
DE AERIBUS, AQUIS ET LOCIS N°3

La contaminación atmosférica es un problema de primera magnitud que afecta a todas las personas. La investigación científica ha permitido conocer mejor sus efectos sobre la salud y dimensionar su impacto sobre nuestras vidas. Hoy somos mucho más conscientes de que hay que mejorar el aire que respiramos.

La estrategia oficial de respuesta habla de evidencia científica, valores límite y plazos cada vez más exigentes. Pero, cuando dejamos a un lado este lenguaje técnico, aparece una pregunta vital: ¿quién convierte eso en actuaciones concretas y cómo lo hacemos? La calidad del aire no mejora redactando normas, sino reduciendo emisiones y la exposición de las personas. Y eso requiere decisiones que se toman en el ámbito local. Entre un valor límite y la mejora real para la población hay un camino que pasa necesariamente por el territorio.

Cada municipio tiene sus características, problemas, recursos y oportunidades. Quienes trabajan en él lo conocen mejor que nadie. La evidencia científica puede ayudarnos a saber qué funciona; el conocimiento del territorio permite resolver cómo hacerlo posible.

Esta guía nace para ayudar a recorrer ese camino. No ofrece recetas, sino conocimiento, criterios y herramientas para identificar oportunidades e incorporar la calidad del aire a decisiones que

ya forman parte de la actividad municipal. Y llega, además, en un momento especialmente propicio: el contexto actual plantea nuevos objetivos y responsabilidades, pero también programas de apoyo, financiación y oportunidades de colaboración.

Sus propuestas no siempre exigen grandes inversiones ni largos procesos. Hay actuaciones sencillas que pueden producir resultados en poco tiempo y aportar beneficios visibles que van más allá de la reducción de contaminantes: espacios públicos más agradables, entornos escolares más seguros o una movilidad más cómoda.

Empezar poco a poco no significa aspirar a poco. Una primera actuación puede servir para aprender, comprobar qué funciona y generar argumentos y confianza para dar el siguiente paso. Así, una iniciativa concreta puede convertirse en una forma de incorporar la calidad del aire a todo tipo de decisiones municipales.

Para todo eso hemos elaborado esta guía, fruto de la colaboración y la experiencia de muchos profesionales. La ponemos a disposición de responsables y profesionales del ámbito local con la confianza de que les ayude a identificar oportunidades, encontrar caminos y, sobre todo, a dar ese primer paso. Porque mejorar la calidad del aire es también una forma de cuidar los lugares en los que habitamos y el bienestar de la comunidad.

Junta Directiva
de la Sociedad Española de Salud Ambiental

Créditos

Dirección, edición y coordinación:

- Luis Moya Ruano – Sociedad Española de Salud Ambiental. Junta de Andalucía
- María Barberá Riera – Sociedad Española de Salud Ambiental. Centro de Salud Pública de Castellón

Grupos de trabajo:

► **Grupo de trabajo 1: Conocimientos básicos sobre la calidad del aire**

Coordinación:

Pedro Úbeda Ruiz. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

Autoría:

- Virginia Ballesteros Arjona. Escuela Andaluza de Salud Pública
- María Barberá Riera. Sociedad Española de Salud Ambiental. Centro de Salud Pública de Castellón
- David A. Cáceres Monllor. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Cristina Carnerero Quintero. Barcelona Supercomputing Center
- Anna Gómez Gutiérrez. Agència de Salut Pública de Barcelona
- GáborIndra Hidalgo López. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Luis Moya Ruano. Junta de Andalucía
- Eva Mª Pérez Gabucio. Generalitat de Catalunya
- José Mª Ordóñez Iriarte. Comunidad de Madrid
- Marc Rico Ramon. Agència de Salut Pública de Barcelona
- Mar Viana Rodríguez. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

► **Grupo de trabajo 2: La calidad del aire que respiramos y nuestra salud**

Coordinación:

- Virginia Ballesteros Arjona. Escuela Andaluza de Salud Pública
- Susana Pallarés Porcar. CIDE-CSIC
- Francisco Javier Sánchez Íñigo. Centro Nacional de Sanidad Ambiental

Autoría:

- Virginia Ballesteros Arjona. Escuela Andaluza de Salud Pública
- María Barberá Riera. Sociedad Española de Salud Ambiental. Centro de Salud Pública de Castellón
- Ana Cañas Portillo. Centro Nacional de Sanidad Ambiental
- Juana Mª Delgado Saborit. Universitat Jaume I
- Salvador Giménez Bru. Ministerio de Sanidad
- Marian Mendoza García. Ministerio de Sanidad
- Margarita Palau Miguel. Ministerio de Sanidad
- Susana Pallarés Porcar. CIDE-CSIC
- Enric Rovira Ricart. Secretaria de Salut Pública. Departament de Salut. Generalitat de Catalunya
- Francisco Javier Sánchez Íñigo. Centro Nacional de Sanidad Ambiental

► **Grupo de trabajo 3: Cómo actuar para mejorar la calidad del aire**

Coordinación:

- Manuel Herrera Artiles. Gobierno de Canarias

Autoría:

- David A. Cáceres Monllor. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Ángeles Cristóbal López. Ayuntamiento de Madrid
- Encarnación de la Vega Pastor. Ayuntamiento de Madrid
- Anna Gómez Gutiérrez. Agència de Salut Pública de Barcelona
- Eva Pérez Gabucio. Generalitat de Catalunya
- Marc Rico Ramon. Agència de Salut Pública de Barcelona
- Mar Viana Rodríguez. Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico

► Grupo de trabajo 4: Fichas metodológicas

Coordinación:

- Luis Moya Ruano. Sociedad Española de Salud Ambiental. Junta de Andalucía
- María Barberá Riera. Sociedad Española de Salud Ambiental. Centro de Salud Pública de Castellón

Autoría:

- María Barberá Riera. Sociedad Española de Salud Ambiental. Centro de Salud Pública de Castellón
- Elena Boldo Pascua. Madrid Salud-Ayuntamiento de Madrid
- M^a José Calle Márquez. INERCO
- Susana Fernández Nocelo. Xunta de Galicia
- Consuelo Garrastazu Diaz. Madrid Salud-Ayuntamiento de Madrid
- Luis Moya Ruano. Sociedad Española de Salud Ambiental. Junta de Andalucía
- Rafael Muñoz Martín. INERCO
- Ángel Pérez Garrido. INERCO
- Esther Valdivia Loizaga. INERCO

Cita recomendada:

- Sociedad Española de Salud Ambiental. Guía de Calidad del Aire. Madrid: Sociedad Española de Salud Ambiental. 2026.

Revisores y expertos consultados:

- Ferran Ballester Díez. Universitat de València
- Covadonga Caballo Diéguez. Exsubdirectora General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Ministerio de Sanidad
- David A. Cáceres Monllor. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Juan Contreras González. Junta de Andalucía
- Santiago González Muñoz. Ministerio de Sanidad
- GáborIndra Hidalgo López. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Georgina Saumell Xuriguera. Ajuntament de Santa Coloma de Cervelló
- Silvia Suárez Luque. Xunta de Galicia
- Elena Veza Martínez. Área Metropolitana de Barcelona
- Jorge Zavatti. Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental

Índice

ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS UTILIZADOS	7
GLOSARIO DE TÉRMINOS	8
CAPÍTULO 1: ASPECTOS BÁSICOS DE LA CALIDAD DEL AIRE	10
1.1 INTRODUCCIÓN	12
1.2 LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS CONSECUENCIAS	14
1.2.1 principales contaminantes	14
1.2.2 situación de la calidad del aire en España	16
1.2.3 efectos sobre la salud, los ecosistemas y la economía	17
1.3 PRINCIPIOS Y ESTRATEGIAS DE ACTUACIÓN	19
1.3.1 estrategias y jerarquía de actuaciones para la reducción de contaminantes	20
1.3.2 normativa y gestión de la calidad del aire	23
CAPÍTULO 2: LA CALIDAD DEL AIRE QUE RESPIRAMOS Y NUESTRA SALUD	24
2.1 INTRODUCCIÓN	26
2.2 ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LA SALUD	27
2.3 LA PIRÁMIDE DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE	28
2.4 MECANISMOS POR LOS QUE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ACTÚA EN EL ORGANISMO	29

2.5 PRINCIPALES EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE A CORTO Y A LARGO PLAZO	30
2.5.1 Sistema respiratorio	30
2.5.2 Sistema cardiovascular	31
2.5.3 Sistema nervioso (incluye enfermedades mentales, trastornos del aprendizaje y de la conducta)	31
2.5.4 Sistema reproductivo y trastornos de la fertilidad	32
2.5.5 Metabolismo	33
2.5.6 Cáncer	33
2.6 ¿QUIÉNES SE VEN MÁS AFECTADOS POR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE?	35
2.6.1 Edad infantil	36
2.6.2 Personas de edad avanzada	36
2.6.3 Embarazadas	37
2.6.4 Personas con enfermedades crónicas	37
2.6.5 Otros grupos especialmente expuestos	38
2.6.6 Personas con menor nivel socioeconómico	38
2.7 DETERMINACIÓN DE LOS IMPACTOS EN SALUD DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	39
2.7.1 <i>Global Burden of Diseases, Injuries and Risk Factors</i> (GBD)	39
2.7.2 Ranking ISGlobal de contaminación del aire de ciudades	40
2.7.3 <i>Health impact assessment</i>	40
CAPÍTULO 3: CÓMO ACTUAR PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE	41
3.1 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	43
3.1.1 Vigilancia de la calidad del aire	43
3.1.2 Evaluación de la calidad del aire	44
3.1.3 Información a la población sobre la calidad del aire	46

3.2 GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	47
3.2.1 actuaciones para la mejora de la calidad del aire	47
3.2.2 políticas transversales: la planificación del municipio	52
3.2.3 herramientas y recursos para optimizar la acción local	55
CAPÍTULO 4: FICHAS METODOLÓGICAS	60
4.1 TRÁFICO	62
4.1.1 Principales impactos sobre la salud	62
4.1.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados	62
4.1.3 Principales estrategias para reducir la contaminación	64
4.1.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire y disminuir su efecto en salud (derivadas de las estrategias anteriores) ...	65
4.2 INDUSTRIA	70
4.2.1 Principales impactos sobre la salud	70
4.2.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados	70
4.2.3 Principales estrategias para reducir la contaminación	72
4.2.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)	73
4.3 OBRAS Y DEMOLICIONES	77
4.3.1 Principales impactos sobre la salud	77
4.3.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados	77
4.3.3 Principales estrategias para reducir la contaminación	79
4.3.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)	80
4.4 INCINERACIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS	83
4.4.1 Principales impactos sobre la salud	83
4.4.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados	83
4.4.3 Principales estrategias para reducir la contaminación	85
4.4.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)	86

4.5 DOMÉSTICO	89
4.5.1 Principales impactos sobre la salud	89
4.5.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados	90
4.5.3 Principales estrategias para reducir la contaminación	91
4.5.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)	92
4.6 AGROFORESTAL Y GANADERO	95
4.6.1 Principales impactos sobre la salud	95
4.6.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados	95
4.6.3 Principales estrategias para reducir la contaminación	97
4.6.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)	98
4.7 FUENTES NATURALES	101
4.7.1 Principales impactos sobre la salud	101
4.7.2 Principales estrategias para reducir los efectos de la contaminación	101
4.8 TODOS LOS SECTORES	103
4.8.1 Otras estrategias para reducir los efectos de la contaminación ...	103
4.8.2 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)	104
ANEXOS	106
ANEXO 1: NORMATIVA DE APLICACIÓN	107
ANEXO 2: VALORES NORMATIVOS Y DE LA OMS DEFINIDOS PARA LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA	108

A

breviaturas, siglas y acrónimos utilizados

As	Arsénico
BaP	Benzo[a]pireno
C₆H₆	Benceno
CC.AA.	Comunidades Autónomas
CH₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
COVNM	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos
Cd	Cadmio
EE.MM.	Estados miembros
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
FEMP	Federación Española de Municipios y Provincias
H₂S	Sulfuro de hidrógeno
Hg	Mercurio
HAPs	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
IA	Inteligencia Artificial
MINTUR	Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
MITERD	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

ML	<i>Machine Learning</i>
MTD	Mejoras Técnicas Disponibles
NH₃	Amoníaco
Ni	Níquel
NO₂	Dióxido de nitrógeno
NO_x	Óxidos de nitrógeno
O₃	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb	Plomo
PM	Material Particulado
PM_{0,1}	Partículas ultrafinas (UFP en inglés) con diámetro inferior a 0,1 µm
PM_{2,5}	Partículas finas con diámetro inferior a 2,5 µm
PM₁₀	Partículas gruesas con diámetro inferior a 10 µm
PYME	Pequeña y mediana Empresa
SIG	Sistema de Información Geográfica
SO₂	Dióxido de azufre
ZBE	Zona de Bajas Emisiones
UE	Unión Europea

Glosario de términos

Término	Definición/Alcance
Aglomeración	Conurbación de población superior a 250 000 habitantes o, cuando tenga una población igual o inferior a 250 000 habitantes, con una densidad de población por km ² que determine la administración competente.
Aire ambiente	El aire exterior de la baja troposfera, excluidos los lugares de trabajo.
Contaminación atmosférica	La presencia en el aire de agentes físicos, químicos o biológicos que tienen consecuencias desfavorables para la salud humana, los seres vivos, el clima o los bienes materiales.
Contaminante atmosférico	Gases, partículas y otros elementos presentes en el aire ambiente que puedan tener efectos nocivos para la salud humana o el medio ambiente.
Contaminante primario	Aquel que se emite directamente a la atmósfera desde una fuente de emisión.
Contaminante secundario	Aquel que se forma en la atmósfera a partir de otros contaminantes (precursores), mediante reacciones químicas o físicas.
Emisión	Proceso por el cual se vierten contaminantes a la atmósfera por una fuente puntual en un periodo determinado de tiempo. Puede ser un proceso natural o por acción humana.
Evaluación	Cualquier método utilizado para medir, calcular, predecir o estimar el nivel de un contaminante en el aire ambiente o sus efectos.

Término	Definición/Alcance
Hoja de ruta	Un plan de calidad del aire, adoptado antes del plazo de cumplimiento de los valores límite y objetivo, que establece políticas y medidas para cumplir los valores mencionados dentro del plazo establecido.
Inmisión o nivel	Concentración de un contaminante en el aire ambiente en un punto concreto.
Mediciones fijas	Aquellas efectuadas en los puntos de muestreo, bien de forma continua o mediante un muestreo aleatorio, en ubicaciones constantes durante un mínimo de un año civil con el propósito de determinar los niveles de conformidad con los objetivos de calidad de los datos pertinentes.
Mediciones indicativas	Las realizadas a intervalos regulares durante un año civil o mediante muestreo aleatorio para determinar los niveles con arreglo a objetivos de calidad de los datos menos estrictos que los exigidos para las mediciones fijas.
Modelos de calidad del aire	Métodos que proporcionan información sobre la calidad del aire a partir de los inventarios de emisiones y de los procesos atmosféricos que determinan la dispersión, el transporte, la transformación química y la eliminación de los contaminantes en la atmósfera.
Planes de acción a corto plazo	Aquellos que establecen medidas de emergencia que deben adoptarse a corto plazo para reducir el riesgo inmediato o la duración de la superación de los niveles de alerta.
Planes de calidad del aire	Aquellos que contienen políticas y medidas para mejorar la calidad del aire de forma que los niveles de los contaminantes estén por debajo de los valores límite, de los valores objetivo o las obligaciones de reducción de la exposición media en caso de que se superen.
Superemplazamiento	Estación de control situada en una ubicación de fondo urbano o de fondo rural que combina múltiples puntos de muestreo para recopilar datos de largo plazo sobre varios contaminantes.

Término	Definición/Alcance
Umbral de alerta	Nivel de concentración de un contaminante a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana que afecta al conjunto de la población y cuya superación o previsión de superación requiere la adopción de medidas excepcionales e inmediatas por parte de las administraciones competentes.
Umbral de información	Nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud de la población especialmente sensible y los grupos vulnerables y que requiere el suministro de información o aviso inmediato y apropiado.
Valor guía	Niveles que proporcionan recomendaciones basadas en conocimientos científicos para reducir las concentraciones de los contaminantes a niveles que no supongan un riesgo para la salud humana. Estos valores no son de obligado cumplimiento.
Valor límite	Un nivel fijado basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana o el medio ambiente que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado.
Valor objetivo	Nivel de un contaminante fijado con arreglo a conocimientos científicos para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos sobre la salud humana o el medio ambiente, que deberá alcanzarse, en la medida de lo posible, en un periodo determinado.
Zona de calidad del aire equivalente	Porción de territorio delimitada por la administración competente y utilizada para evaluación y gestión de la calidad del aire. A lo largo del texto, se hace referencia a este término como zona de calidad del aire o zona.

1 Conocimientos básicos sobre la calidad del aire

**[VIRGINIA BALLESTEROS ARJONA, MARÍA BARBERÁ RIERA, DAVID A. CÁCERES MONLLOR, CRISTINA
CARNERERO QUINTERO, ANNA GÓMEZ GUTIÉRREZ, GÁDORINDRA HIDALGO LÓPEZ, LUIS MOYA RUANO,
EVA M^a. PÉREZ GABUCIO, JOSÉ M^a ORDÓÑEZ IRIARTE, MARC RICO RAMON, MAR VIANA RODRÍGUEZ]**

ABC

ABC

Este apartado nos ayudará a entender qué significa hablar de contaminación del aire, de dónde procede y por qué es tan importante reducirla. Veremos, además, por qué las ciudades y los gobiernos locales tienen un papel clave: en los entornos urbanos se concentran la población y los contaminantes y se ejercen las competencias de control de muchas de sus fuentes. Cabe señalar, que aunque hay otros temas que tienen que ver con la calidad del aire como el cambio climático, el polen, la contaminación del aire en espacios interiores y otras formas de contaminación transmitidas por el aire, como el ruido, no son objeto específico de esta guía.

1.1 INTRODUCCIÓN

A efectos prácticos, entendemos por contaminación del aire la presencia en la atmósfera de partículas y gases en concentraciones que pueden resultar perjudiciales para la salud humana o los ecosistemas. Es un problema grave que suele pasar desapercibido: es invisible y silenciosa y sus efectos pueden tardar en aparecer. Sin embargo, la contaminación del aire supone el principal riesgo ambiental para la salud humana, tanto a escala global¹, como en Europa² y en España³. En 2021, contribuyó a más de **una de cada ocho defunciones a escala global**⁴.

¹ GBD 2017 Risk Factor Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioral, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. Lancet 2018 Nov 10;392(10159):1923-94.

² Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim TA, Conrad A, Rappolder M et al. Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. Environ Health Perspect. 2014;122(5):439-46.

³ Soriano JB, Rojas-Rueda D, Alonso J, Antó JM, Cardona PJ, Fernández E et al. The burden of disease in Spain: Results from the Global Burden of Disease 2016. Med Clin (Barc). 2018;151(5):171-90.

⁴ Health Effects Institute. 2024. State of Global Air 2024. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute; 2024. Disponible en : <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024>

Aunque existen fuentes naturales de contaminación, como los arrastres de arena y polvo o las erupciones volcánicas, su impacto suele ser limitado y ocasional. El verdadero problema lo constituyen los subproductos indeseados de nuestro estilo de vida: transporte, calefacción, industria o generación de energía.

La preocupación por la calidad del aire se inició en la Revolución Industrial, incrementándose a mediados del siglo XX, cuando episodios graves como el smog de Londres (1952) mostraron de manera dramática que la contaminación podía convertirse en un problema crítico para la salud. La necesidad de actuar se hizo evidente y desde entonces se ha ido trabajando para mejorar de forma paulatina la calidad del aire que respiramos. Tenemos normas cada vez más estrictas impulsadas por la Unión Europea (UE), que convierten la mejora de la calidad del aire en una obligación legal de primer orden.

La contaminación del aire es, sobre todo, un problema de entornos urbanos: allí se concentran fuentes de emisión y la población; de hecho, se prevé que 7 de cada 10 personas residan en ciudades en 2050⁵. A diferencia de grandes retos globales, como el cambio climático, cuya mitigación requiere esfuerzos masivos y coordinados, en el caso de la calidad del aire, es posible lograr mejoras significativas a través de actuaciones relativamente sencillas a escala local. Ejemplos de estas serían la intervención en el transporte, la mejora del urbanismo o la actuación sobre instalaciones industriales, que pueden resultar suficientes y eficaces para lograr una mejora significativa de la calidad de vida de la población. Los efectos de la contaminación del aire pueden reducirse de forma relativamente rápida si se aplican medidas eficaces, como se ha observado en ciudades que han restringido el tráfico o mejorado el transporte público.

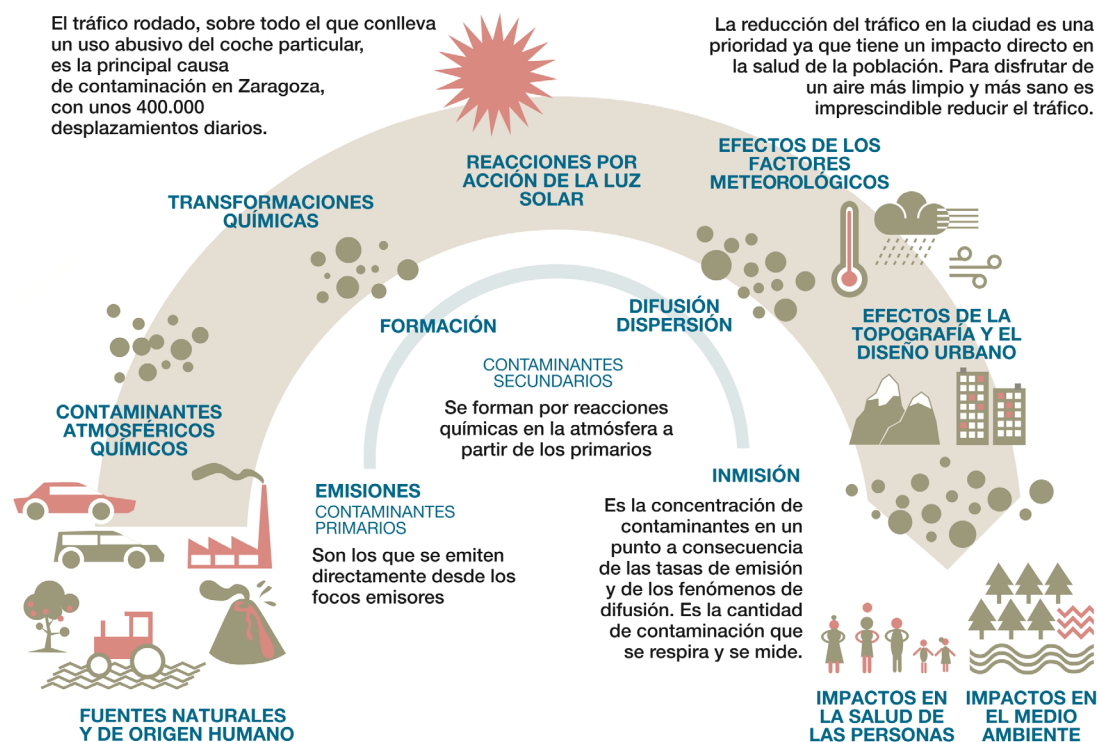
⁵ United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). World Cities Report 2022. Envisaging the future of cities. Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat);2022.

Aunque muchas de las medidas locales dirigidas a la disminución de la concentración de contaminantes pueden contribuir a reducir también otros problemas como los causados por el ruido o los gases de efecto invernadero, esta guía se centra sobre todo en los contaminantes regulados en la normativa europea de calidad del aire.

No obstante, es importante tener en cuenta la interacción entre los contaminantes del aire con otros factores ambientales. Por ejemplo, el cambio climático influye tanto en la formación de contaminantes secundarios, como en las condiciones atmosféricas que determinan su dispersión, lo que puede amplificar sus efectos. Asimismo, los posibles efectos sinérgicos entre contaminantes deberían considerarse al diseñar políticas integradas de salud ambiental.

Figura 1.1. Fuente: Ayuntamiento de Zaragoza

Así se emiten y se mueven los contaminantes



1.2 LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS CONSECUENCIAS

Este apartado incluye la información necesaria para comprender y dimensionar el problema de la calidad del aire. Para ello, se señalan los principales contaminantes, las fuentes que los generan y, como contexto, la situación de la calidad del aire en nuestro país, describiendo los niveles actuales de contaminación, su evolución reciente y las fuentes de contaminación más habituales. Se presta especial atención a las intrusiones de polvo africano y su particular metodología de evaluación y finalmente, se señala el impacto de la contaminación del aire en la salud, los ecosistemas y la economía.

1.2.1. Principales contaminantes

Los contaminantes presentes en el aire pueden tener un origen primario, cuando son emitidos directamente a la atmósfera, o secundario,

si se forman a partir de precursores, mediante reacciones químicas o fotoquímicas en la atmósfera.

Los principales **contaminantes primarios** son el material particulado (PM), también llamado coloquialmente partículas, el carbono negro (*black carbon*, en inglés), los óxidos de azufre (SO_x), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el amoníaco (NH_3), el monóxido de carbono (CO), el metano (CH_4), los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVNM), incluyendo benceno (C_6H_6), y ciertos metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), como el benzo[a]pireno (BaP).

Son **contaminantes secundarios** el PM, el ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y diferentes compuestos orgánicos volátiles oxidados (COVs). Los principales gases precursores del material particulado secundario son: el dióxido de azufre (SO_2), el NO_x , el NH_3 y los COVs.

Además de estos contaminantes principales, existe un elevado número de compuestos químicos sintetizados por el ser humano (de uso industrial, plaguicidas, cosméticos, medicamentos, ambientadores, etc.) cuyos niveles en el aire ambiente no se encuentran regulados de manera específica pero que también forman parte de esa mezcla compleja en evolución constante que resta calidad al aire.

Además de conocer qué tipo de contaminantes existen, es importante saber cómo y dónde se forman, para poder así actuar en aquellos focos que los emiten. En la tabla 1.1. se ofrece información sobre las características y las fuentes de emisión mayoritarias de cada uno de los principales contaminantes.

Tabla 1.1. Características y fuentes de los principales contaminantes atmosféricos. Fuente: elaboración propia

CONTAMINANTE	CARACTERÍSTICAS	
BaP	Descripción	Pertenece al grupo de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, de los que constituye un buen trazador.
	Origen	Emitido principalmente por la combustión de carbón y madera para calefacción y, en menor medida, por instalaciones industriales y la combustión de residuos agrícolas.
C ₆ H ₆	Descripción	Hidrocarburo aromático, incoloro, altamente inflamable y volátil.
	Origen	El tráfico, los procesos de combustión, la calefacción doméstica, la evaporación durante la distribución de hidrocarburos y en algunas actividades industriales.
CO	Descripción	Gas irritante, incoloro, sin olor y sin sabor. Es el gas emitido más abundante después del CO₂ y del vapor de agua. En la atmósfera termina oxidándose a CO₂, por lo que afecta al cambio climático al ser este último un gas de efecto invernadero.
	Origen	La emisión se genera en combustiones incompletas (gas, carbón, gasóleo, biomasa), principalmente en fuentes como el tráfico y las estufas para uso doméstico.
Metales	Descripción	Los metales pesados presentes en la atmósfera que están legislados son el arsénico (As), el cadmio, (Cd), el níquel (Ni) y el plomo (Pb). En el aire ambiente, los metales y los compuestos que forman con otros elementos están, principalmente, en el material particulado.
	Origen	Pueden tener un origen natural (volcanes, fuegos, etc.) o bien un origen antropogénico, principalmente procesos de combustión, tráfico y procesos industriales (plantas de sinterización, industrias del hierro y el acero y de metales no férricos)
NO ₂	Descripción	Gas de color marrón rojizo y olor fuerte. Se suele medir junto con otros compuestos que contienen nitrógeno y oxígeno (óxidos de nitrógeno o NO_x), como el monóxido de nitrógeno (NO).
	Origen	La principal fuente antropogénica es la combustión, tanto de tipo móvil (tránsito terrestre, aéreo y marítimo) como de tipo estacionario (industria).
O ₃	Descripción	Gas incoloro y con un olor agradable. Tiene un gran poder oxidante. El ozono troposférico se sitúa en las capas bajas de la atmósfera y está considerado un contaminante. No debe confundirse con el ozono estratosférico, que se sitúa a mayor altitud de manera natural y forma la capa de ozono. Se trata de la misma sustancia, pero su ubicación en la atmósfera es lo que lo convierte en un contaminante o un protector.
	Origen	No hay fuentes directas de emisión de ozono, sino que se trata de un contaminante secundario. Se forma a partir de otros compuestos, llamados precursores, entre los que se encuentran los NO_x y los COVs, que reaccionan en condiciones ambientales con radiación solar.
PM	Descripción	- Mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas formada por un conjunto de moléculas de la misma o de diferentes sustancias. - Se clasifican según su diámetro aerodinámico en PM₁₀ (diámetros inferiores a 10 micras), PM_{2,5} (diámetros inferiores a 2,5 micras) y PM₁ (diámetros inferiores a 1 micra). Las partículas ultrafinas son aquellas con diámetros inferiores a 0,01 micras. El carbono negro (<i>Black Carbon</i>), hace referencia a las partículas de la fracción PM_{2,5} formadas cuando la combustión es incompleta.
	Origen	Son emitidas a la atmósfera a partir de fuentes antropogénicas (tráfico, calefacciones domésticas, industria, agricultura, quemas agrícolas) y fuentes naturales (sal marina, polvo sahariano, incendios, volcanes). Pueden ser emitidas a la atmósfera o formarse de forma secundaria en esta a partir de diferentes gases (por ej. NH₃ y NO₂).
SO ₂	Descripción	Gas incoloro y con un olor solo perceptible a concentraciones muy elevadas.
	Origen	La principal fuente antropogénica es la combustión de carburantes que contienen azufre, especialmente el carbón, mayoritariamente en combustiones domésticas o industriales, en el transporte y la fundición de minerales que contienen sulfuros. Las fuentes naturales más importantes son los volcanes y los océanos.

BaP: benzo(a)pireno; COVs: compuestos orgánicos volátiles; CO: monóxido de carbono; CO₂: dióxido de carbono; C₆H₆: benceno; NO_x: óxidos de nitrógeno; NO₂: dióxido de nitrógeno; O₃: ozono; PM: partículas; SO₂: dióxido de azufre

Los contaminantes pueden provenir de **fuentes naturales** (partículas de polvo procedentes del desierto, aerosoles marinos, partículas de polvo volcánico, incendios forestales, material biológico) pero las principales fuentes son de **origen antrópico** (consumo de energía en viviendas, comercios o edificios institucionales, la industria manufacturera y extractiva, la agricultura, el transporte, el suministro de energía, el sector de gestión de residuos).

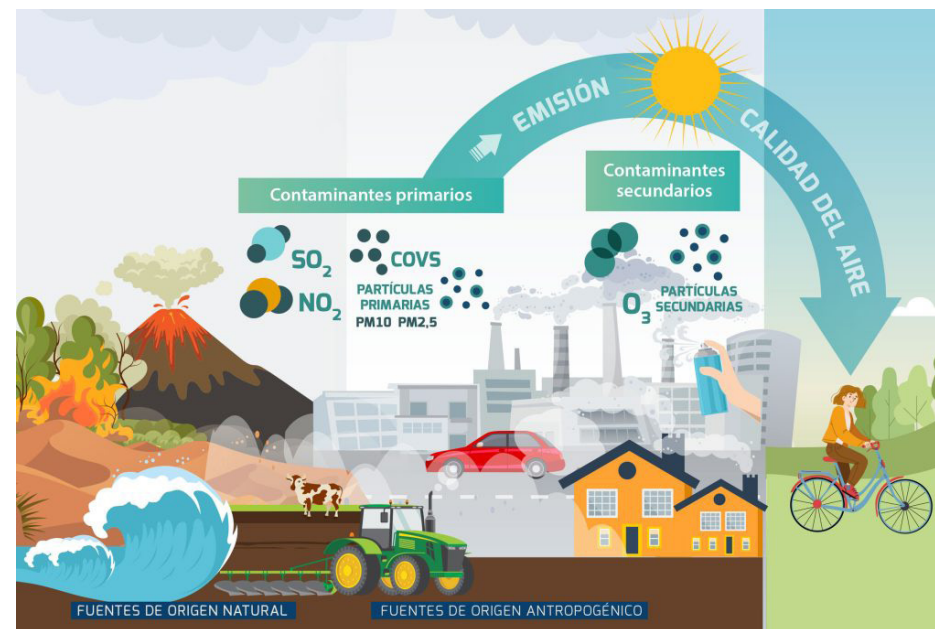
INTRUSIONES DE POLVO AFRICANO

La contaminación por partículas asociada a intrusiones de polvo africano presenta una particularidad relevante en su evaluación. Aunque estas intrusiones constituyen una fuente importante de partículas en suspensión, se consideran de origen natural y, por tanto, pueden excluirse del cómputo normativo de calidad del aire.

Esto significa que, cuando se detecta una intrusión de polvo sahariano, los valores de concentración registrados en las estaciones de medición pueden ser corregidos, descontando la fracción atribuible a este fenómeno natural. Como resultado, se reduce el número de superaciones respecto a los límites legales establecidos.

Sin embargo, es importante subrayar que estas intrusiones sí aumentan la exposición real de la población y tienen efectos sobre la salud, independientemente de su origen. Por ello, aunque los datos oficiales puedan ajustarse para fines normativos, no siempre reflejan con precisión el riesgo real para la salud pública, lo que puede inducir a interpretaciones erróneas si no se contextualizan adecuadamente.

Figura 1.2. Principales contaminantes y su origen. Fuente: MITERD



1.2.2. Situación de la calidad del aire en España

En España, los últimos informes de calidad del aire⁶ (que toman como base el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire) nos informan de niveles elevados y generalizados de ozono, principalmente por la intensa insolación y las emisiones de sus precursores. Los niveles de partículas también son altos, sobre todo en el sur de la Península y en Canarias, aunque si se descuentan los aportes naturales, están dentro de los límites legales. El resto de

⁶Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Evaluación de la Calidad del Aire en España 2024. [citado el 25 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/sgalsi/atm%C3%B3sfera-y-calidad-del-aire/informes/2025-08-04_Informe_evaluacion_calidad_aire_Espana_2024.pdf

los contaminantes suele cumplir los límites, excepto en algunos casos puntuales bien identificados.

En general, la contaminación del aire ha ido disminuyendo lentamente. Sin embargo, la situación sigue siendo preocupante si se comparan los valores actuales con las recomendaciones más recientes de la Organización Mundial de la Salud (OMS): cerca del 50 % de las zonas superan los niveles guía para NO_2 , el 90 % para PM y casi todas para O_3 , lo que evidencia que aún existe un riesgo importante para la salud.



En la página del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) pueden encontrarse los informes de evaluación de la calidad del aire, el histórico de datos, un repositorio con los datos brutos y tratados estadísticamente e información sobre las redes de vigilancia de calidad del aire en España: [Evaluación y datos de calidad del aire](#).

Las **principales fuentes de contaminación** por PM son el consumo de energía en el ámbito residencial, comercial e institucional, la industria manufacturera y extractiva y, en el caso de las PM_{10} , también la agricultura. Esta última, además destaca como fuente de NH_3 y CH_4 . Por su parte, el transporte por carretera constituye una fuente importante de NO_x , mientras que el sector del suministro de energía destaca por las emisiones de SO_2 . Las industrias manufactureras y extractivas, junto con el sector energético, concentran la mayor parte de las emisiones de metales pesados⁷.

⁷Agencia Europea de Medio ambiente. Sources and emissions of air pollutants in Europe. [citado el 16 de enero de 2026] Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-in-europe-2022/sources-and-emissions-of-pollutants-in-europe>

En España, los episodios de intrusión de polvo africano se producen de manera reiterada, sobre todo en el sur y el sureste de la Península y Canarias (hasta un 40 % de los días). Este fenómeno se origina cuando vientos cálidos y secos arrastran partículas del desierto del Sahara, favorecidos por altas presiones en el norte de África o bajas en el Mediterráneo.



Los inventarios de emisiones (SO_2 , NH_3 , COVNM, NO_x , $\text{PM}_{2.5}$) por sector comunicados por España pueden consultarse en la [web](#) de la Agencia Europea de Medio Ambiente. El [MITERD](#) proporciona información al respecto detallada por territorios

1.2.3. Efectos sobre la salud, los ecosistemas y la economía

Hacer frente al problema de la deficiente calidad del aire está más que justificado por los impactos que produce: además de ser uno de los principales riesgos ambientales para la salud, la contaminación del aire afecta también a los **ecosistemas**; el O_3 troposférico reduce la calidad y cantidad de los cultivos y daña la vegetación natural, mientras que los NO_x y óxidos de azufre contribuyen a la acidificación y eutrofización de suelos y aguas, alterando hábitats y biodiversidad.

Durante la última década, ha habido un aumento notable del conocimiento sobre la relación entre la calidad del aire y la **salud humana**. Los resultados en salud más estudiados son los efectos adversos en el sistema respiratorio, seguidos del cardiovascular, pero también hay evidencias de que respirar un aire con mala calidad contribuye al deterioro cognitivo, a la aparición de cáncer, a problemas de fertilidad, a

efectos perjudiciales en el embarazo y el desarrollo, así como a la mortalidad prematura. En cuanto a los contaminantes, son las PM y el NO₂ a los que más se ha dirigido la atención en las revisiones publicadas⁸.

Además, la contaminación del aire genera **costes económicos** muy elevados, como un aumento del gasto sanitario por hospitalizaciones y tratamientos, pérdidas de productividad por enfermedad y mortalidad prematura, daños en edificios y monumentos y reducción de rendimientos agrícolas. En Europa, se estima que el coste relacionado con sus impactos en salud supera los 900 000 millones de € al año; en España, este coste se sitúa entre 30 000 y 40 000 millones de € anuales⁹.

Los estudios económicos derivados de aplicar estrategias para mejorar la calidad del aire superan ampliamente los costes de su implementación. Por ejemplo, en España y con respecto a los ingresos hospitalarios urgentes atribuidos a las PM y el NO₂, el ahorro anual en el cumplimiento de los valores de la UE (Directiva 2024/2881) se estima en 6,7 millones de € y el cumplimiento de los valores de la OMS en 63 millones de €¹⁰.

⁸ Dominski FH, Lorenzetti Branco JH, Buonanno G, Stabile L, Gameiro da Silva M, Andrade A. Effects of air pollution on health: A mapping review of systematic reviews and meta-analyses. Environ Res. 2021; 201:111487

⁹ Naciones Unidas. Consejo Económico y Social. Comisión Económica para Europa. Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Cost of inaction. [actualizado 31 de octubre de 2022; citado el 28 de agosto de 2025] Disponible en: <https://unece.org/environment/documents/2022/09/working-documents/cost-inaction>

¹⁰ Linares C, Díaz J, Navas MA, López-Bueno JA. ¿Realmente la nueva Directiva de la Unión Europea sobre calidad del aire protege la salud? Un caso a estudio a nivel nacional en España. Rev. Salud ambient. 2025; 25(1):51-61

1.3

PRINCIPIOS Y ESTRATEGIAS DE ACTUACIÓN

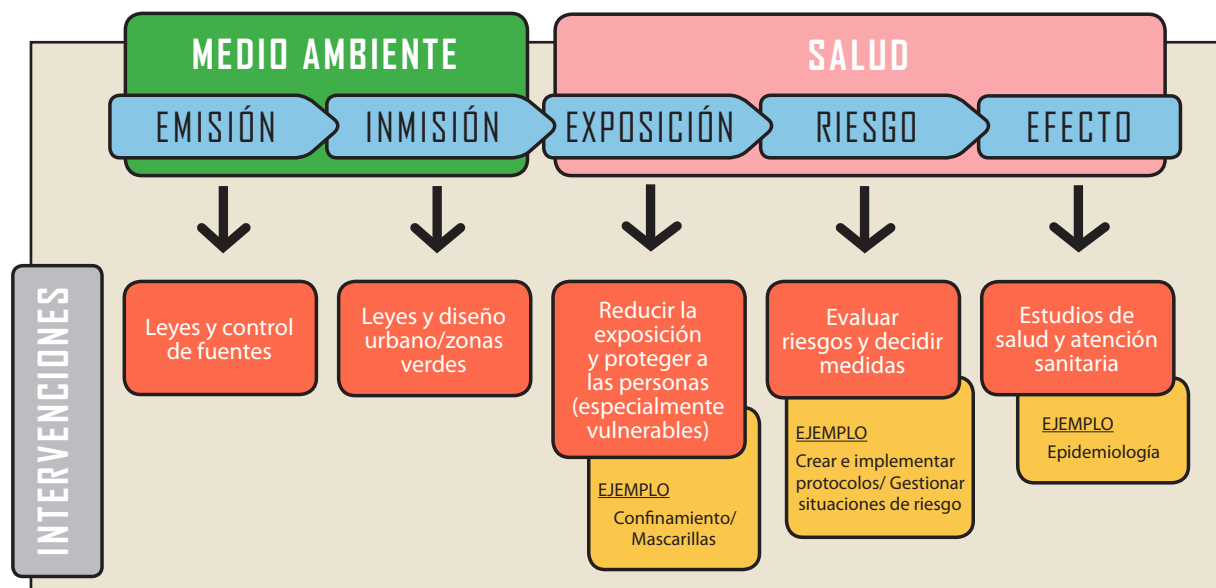
Para entender cómo la contaminación del aire afecta a la salud y poder diseñar intervenciones, es útil analizar los mecanismos que determinan los impactos. En general, estos dependen de tres elementos interrelacionados:

- **Emisión y dispersión:** tipo y cantidad de combustible, barreras a la emisión y condiciones ambientales o del entorno que afectan su dispersión.

- **Exposición y dosis:** número de personas expuestas, duración e intensidad de la exposición y mecanismos de protección individual o colectiva.
- **Respuesta del organismo:** características de la población (edad, estado de salud, vulnerabilidad) y factores que modulan la reacción a los contaminantes, como vías de exposición o interacciones con otros químicos o factores ambientales como las altas temperaturas.

Como se muestra en apartados posteriores, analizando estos bloques según las fuentes y los contaminantes, es posible identificar los puntos dónde las actuaciones serán más efectivas y planificar estrategias de reducción de impactos sobre la salud (figura 1.3).

Figura 1.3. Intervenciones para mejorar la calidad del aire. Fuente: elaboración propia



A continuación, se introducen cuestiones fundamentales para comprender la gestión orientada a revertir o mitigar la mala calidad del aire que puede afectar a una comunidad. Se presentan los principios generales de actuación y cómo identificar los objetivos de reducción: valores de referencia establecidos por organismos como la OMS marcan niveles aceptables de riesgo, aunque nunca nulos. A partir de esta base, se explican las principales estrategias de reducción, la respuesta que deben dar las autoridades y las competencias de las distintas partes implicadas, proporcionando un marco claro de ayuda a la toma de decisiones.

La gestión de la calidad del aire debe basarse siempre en la mejor evidencia científica y buenas prácticas, combinando la acción de autoridades, personas expertas y la ciudadanía. La colaboración entre las distintas partes, así como la implicación y concienciación de la población, son fundamentales para el éxito de las intervenciones.

La estrategia básica para mejorar la calidad del aire es sencilla: consiste en reducir la presencia de contaminantes hasta niveles considerados seguros. Aunque no existe un umbral completamente libre de riesgo, estas acciones permiten minimizar de manera significativa los impactos sobre la salud.

1.3.1. Estrategias y jerarquía de actuaciones para la reducción de contaminantes

Los niveles de referencia más aceptados son los de la OMS, que elabora directrices sobre calidad del aire basadas en estudios epidemiológicos y análisis de riesgos y proporciona recomendaciones para proteger la salud pública. En septiembre de 2021, esta organización

publicó unas nuevas directrices mundiales¹¹ con nuevos valores guía de calidad del aire para la protección de la salud humana para PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ y CO (Anexo 1). Todos ellos suponen una reducción sustancial respecto a los que estaban definidos en la guía publicada en 2005, excepto para el caso del SO₂.

Para el diseño y puesta en marcha de actuaciones dirigidas a mejorar la calidad del aire, es importante entender cuáles son las diferentes **estrategias de reducción de contaminantes**. Para ello, si recordamos los elementos que determinan los impactos, entenderemos que existirán tantas estrategias como formas de influir en estos mecanismos y factores (emisión, dispersión, exposición y respuesta).

ZONA DE BAJAS EMISIONES

Entre las distintas medidas para mejorar la calidad del aire, por su especial relevancia es necesario mencionar las Zonas de Bajas Emisiones (ZBE), que son áreas delimitadas, generalmente en núcleos urbanos con alta densidad de población y tráfico, donde se restringe el acceso a los vehículos más contaminantes con el fin de reducir las emisiones al aire. Las ZBE están reguladas por la [Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética](#), que obliga a municipios de más de 50 000 habitantes y territorios insulares, así como a municipios de más de 20 000 habitantes, si superan determinados valores límite de contaminación, a establecerlas antes de 2023. El [Real Decreto 1052/2022](#) concreta los requisitos mínimos comunes para su implantación.

¹¹ Organización Mundial de la Salud. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization. 2021. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>

Como puede observarse en la tabla 1.2, con relación a las estrategias de actuación, tendremos así desde medidas de protección de la población, que limitan su exposición directa de la ciudadanía, incluso sin reducir los niveles de contaminación, hasta acciones sobre las fuentes, como la reducción de la actividad contaminante, la mejora de la eficiencia de los procesos, la sustitución de combustibles o la introducción de barreras de emisión.

Tabla 1.2. Ejemplo no exhaustivo de estrategias de actuación para reducir los problemas de la contaminación atmosférica junto con medidas específicas. Fuente: elaboración propia

ESTRATEGIAS	MEDIDAS
Reducción de la actividad contaminante	Fomento del teletrabajo, peatonalización de vías, prevención de incendios o quema de rastrojos, etc.
Mejora de la eficiencia en los procesos	Disminución del peso de vehículos, mejora en el aislamiento térmico, recuperación de calor residual en industrias, etc.
Sustitución de combustibles	Uso de vehículos eléctricos, sustitución de fueloil o pélets por gas natural en calderas, electrificación, etc.
Introducción de barreras en la emisión	Empleo de filtros, catalizadores en vehículos, mantenimiento de los caminos húmedos, etc.
Protección de la población	Uso de mascarillas, confinamiento, separación de fuentes de contaminación, etc.

La combinación de varias estrategias permite actuar de manera más efectiva sobre los distintos factores que influyen en la contaminación, pero también debe existir una jerarquía de intervenciones, potencian-

do las más eficaces y útiles. La jerarquía, que se presenta en la figura 1.4, debe priorizar las acciones que atacan la causa del problema porque ofrecen un efecto más duradero y sostenible. Las intervenciones sobre la fuente reducen directamente las emisiones; los controles de emisiones son eficaces cuando no se puede modificar la fuente; y las medidas de protección se emplean como último recurso, para limitar los impactos sobre la salud. La planificación, la educación y el mantenimiento complementan todas las capas de acción, optimizando los resultados y asegurando un enfoque integral y coordinado.

Para que las estrategias de reducción de contaminantes sean efectivas, es necesario un marco de actuaciones coherente y coordinado entre las distintas administraciones. Esto implica cooperación y coordinación para que todas las acciones se complementen y no se solapen. La organización de estas actuaciones suele incluir varias etapas: la redacción de normas que establecen límites y obligaciones; la planificación de las intervenciones; la implementación de medidas concretas; y la vigilancia de la calidad del aire para evaluar resultados y ajustar acciones. Estas etapas forman ciclos de gestión que se desarrollan de manera continua y que se detallan en los capítulos siguientes de esta guía.

De manera específica, en el Capítulo 4 se incluye una propuesta de estrategias y medidas frente a la contaminación del aire organizadas según el origen de la contaminación (tráfico motorizado, industrial, obras y demoliciones, gestión de residuos doméstico, agroforestal y ganadero), junto con ejemplos de buenas prácticas y posibles indicadores.

Figura 1.4. Propuesta de jerarquía de intervenciones para la reducción de los problemas derivados de la contaminación atmosférica. Fuente: elaboración propia

JERARQUÍA DE INTERVENCIONES



1.3.2. Normativa y gestión de la calidad del aire

La normativa de calidad del aire proviene sobre todo de la UE. En diciembre de 2024 se publicó la [Directiva 2024/2881](#), del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa. Su objetivo principal es aproximar las normas de la UE a las recomendaciones de la OMS, para lo que incorpora umbrales de contaminación más estrictos que los anteriormente legislados.

En cuanto a la normativa, podemos consultar el listado actual en el Anexo 1, que puede completarse con la información de la página [web](#) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Las normas de calidad del aire incluyen para los contaminantes regulados valores límite, valores objetivo, umbrales de alerta y de información, además de otros valores como los referentes a las obligaciones de reducción de la exposición media, los objetivos en materia de concentración de la exposición media, niveles críticos, así como objetivos a largo plazo, para proteger la salud de la población, la vegetación y los ecosistemas. La superación de los valores normativos conlleva la adopción de determinadas actuaciones que se describen en el Capítulo 3.

En el Anexo 2 se incluyen los contaminantes principales junto con los valores límite y objetivos legislados y se comparan con los definidos por la OMS para la protección de la salud humana. Además, se incluyen los umbrales de información y de alerta recogidos en la normativa.

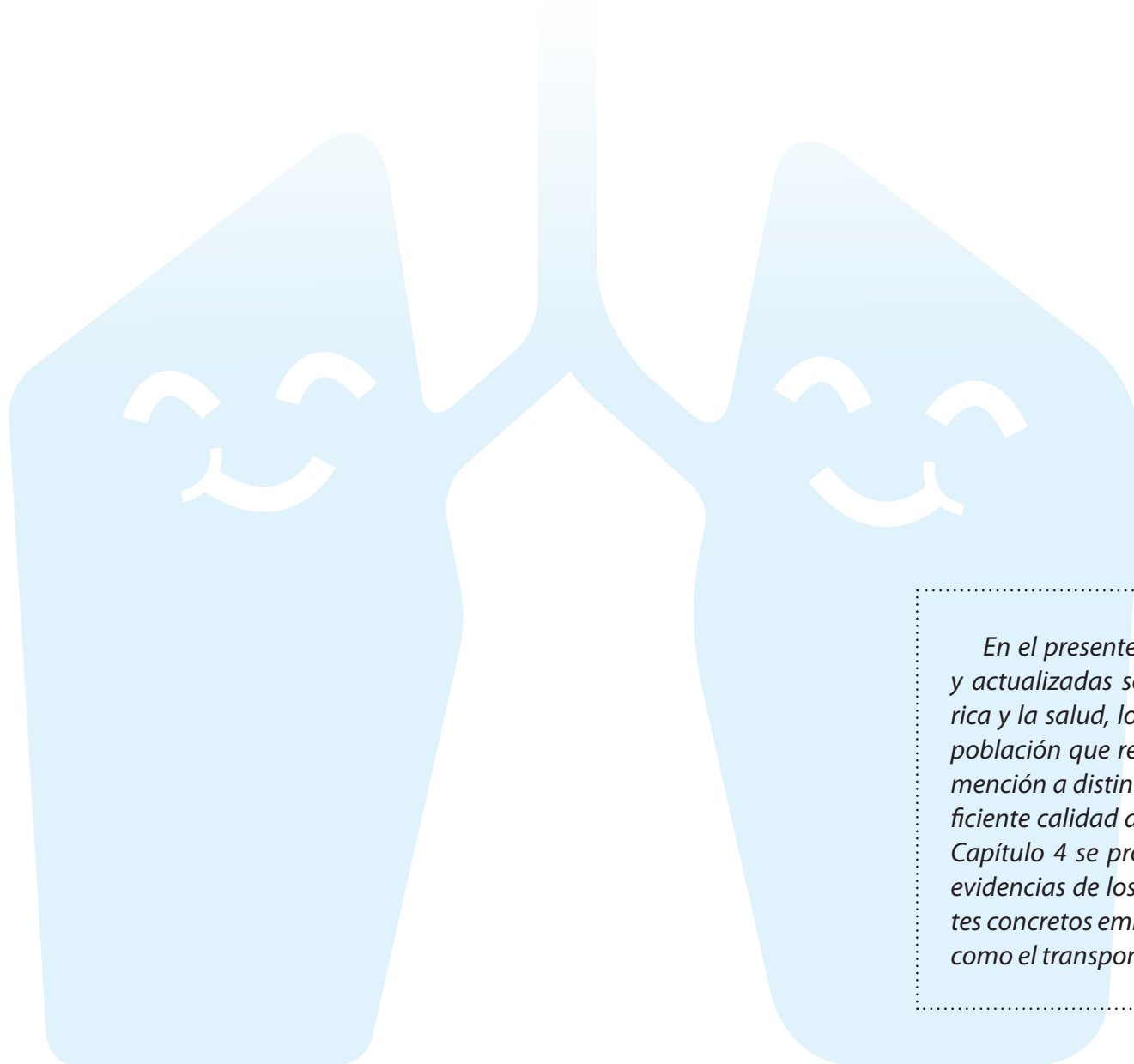
La planificación puede tener un carácter estratégico como, por ejemplo, el Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica, donde se establecen techos de emisión para SO_2 , NO_x , COVNM, NH_3 y $\text{PM}_{2,5}$ o PM_{10} , o más habitualmente, constituir planes específicos a nivel autonómico o municipal.

Finalmente, es importante aclarar el **papel** de cada una de las diferentes **administraciones públicas** en materia de calidad del aire, dada la pluralidad de competencias concurrentes. De manera general, a la Administración General del Estado le corresponde proponer y adoptar medidas de coordinación y cooperación con la UE y las CC.AA. (Comunidades Autónomas), así como la elaboración de los Planes Nacionales de Calidad del Aire y la recopilación de información técnica sobre contaminación atmosférica de fondo. Por su parte, a las CC.AA. y a aquellas entidades locales que opten por gestionar su propia red, les corresponde delimitar y clasificar las zonas de calidad del aire en su ámbito territorial, realizar la toma de datos, evaluar las concentraciones de contaminantes, adoptar medidas para garantizar los niveles normativos y aprobar los planes para la mejora de la calidad del aire que marca la legislación. Por lo que respecta a las entidades locales, estas deben tomar medidas para reducir la contaminación en el ámbito de sus competencias, como se especifica en capítulos posteriores.

2 La calidad del aire que respiramos y nuestra salud

[VIRGINIA BALLESTEROS ARJONA, MARÍA BARBERÁ RIERA, ANA ISABEL CAÑAS PORTILLO, JUANA MARÍA DELGADO SABORIT, SALVADOR GIMÉNEZ BRU, MARIAN MENDOZA GARCÍA, MARGARITA PALAU MIGUEL, SUSANA PALLARÉS PORCAR, ENRIC ROVIRA RICART, FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ IÑIGO]





En el presente capítulo se ofrecerán nociones básicas, generales y actualizadas sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la salud, los efectos en salud derivados y sobre los grupos de población que requieren una especial protección. Además, se hará mención a distintos recursos para cuantificar los impactos de la deficiente calidad del aire en la salud. En las fichas metodológicas del Capítulo 4 se proporcionará información más detallada sobre las evidencias de los efectos en la salud que se asocian a contaminantes concretos emitidos por cada uno de los principales sectores, tales como el transporte y la industria, entre otros.

2.1 INTRODUCCIÓN

Existe evidencia suficiente que permite afirmar que la exposición a contaminantes atmosféricos representa un grave problema de salud pública, con repercusiones significativas en la calidad de vida de las personas. Tres son los motivos principales:

- la severidad del peligro
- la exposición continua
- la generalización de la exposición a toda la población

Puesto que existen muy pocas medidas de protección individual efectivas, la contaminación atmosférica como problema de salud debe abordarse desde el ámbito comunitario. Cualquier reducción en la con-

centración de contaminantes, por mínima que sea, se traducirá en una mejora de la salud de las personas¹, pues es reconocido que no existe un umbral seguro de exposición.

A la hora de planificar medidas dirigidas a la mejora de la calidad del aire, si bien es necesario incluir actuaciones frente a los picos de contaminación, lo que resulta prioritario para la protección de la salud es reducir las concentraciones de contaminantes habitualmente presentes en el aire de una zona. La disminución de los niveles base maximiza los beneficios en salud, a la vez que permite reducir la intensidad y la frecuencia de los picos de contaminación.

Cuando se diseñan estrategias orientadas a la disminución de la contaminación atmosférica, resulta de gran interés contar con conocimientos básicos de los efectos en salud derivados, así como de los grupos de población que pueden verse especialmente afectados. Esto permite justificar las actuaciones, identificar y estimar los resultados en salud de las intervenciones realizadas, así como favorecer la protección de los colectivos que sufren especialmente las consecuencias de una deficiente calidad del aire.

¹ Organización Mundial de la Salud. WHO global air quality guidelines. [actualizado en 2021; consultado el 9 de febrero de 2024] Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107823/9789289021920-eng.pdf?sequence=1>

2.2 ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LA SALUD

El estudio de los efectos individuales en la salud derivados de la contaminación atmosférica no es una tarea sencilla por distintos motivos:

- Los contaminantes presentes en el aire son muy numerosos, interaccionan entre sí y su presencia y concentración están influenciadas por factores como el ambiente, la estación, la temperatura, el viento, las inversiones térmicas o la humedad.
- La exposición entre los individuos varía según las zonas frecuentadas y las actividades realizadas.
- Los impactos en salud difieren entre las personas expuestas y grupos vulnerables, dado que están condicionados, entre otros aspectos, por el estado de salud y las características sociodemográficas.

- Las enfermedades potencialmente ligadas a la contaminación del aire son multifactoriales, por lo que una deficiente calidad del aire no constituye una causa específica sino tan solo uno de los factores que contribuyen a su aparición o agravamiento.

A pesar de las dificultades, la ciencia nos ofrece una amplia evidencia de las consecuencias de respirar un aire contaminado. Existen multitud de estudios epidemiológicos y también revisiones sistemáticas y metaanálisis (que revisan críticamente y combinan los resultados de distintos estudios) que apuntan hacia el incremento del riesgo de distintas afecciones en la población derivadas de la exposición a contaminación atmosférica.

En los siguientes apartados se enumeran los principales efectos en salud que se han relacionado con respirar un aire contaminado.

2.3 LA PIRÁMIDE DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

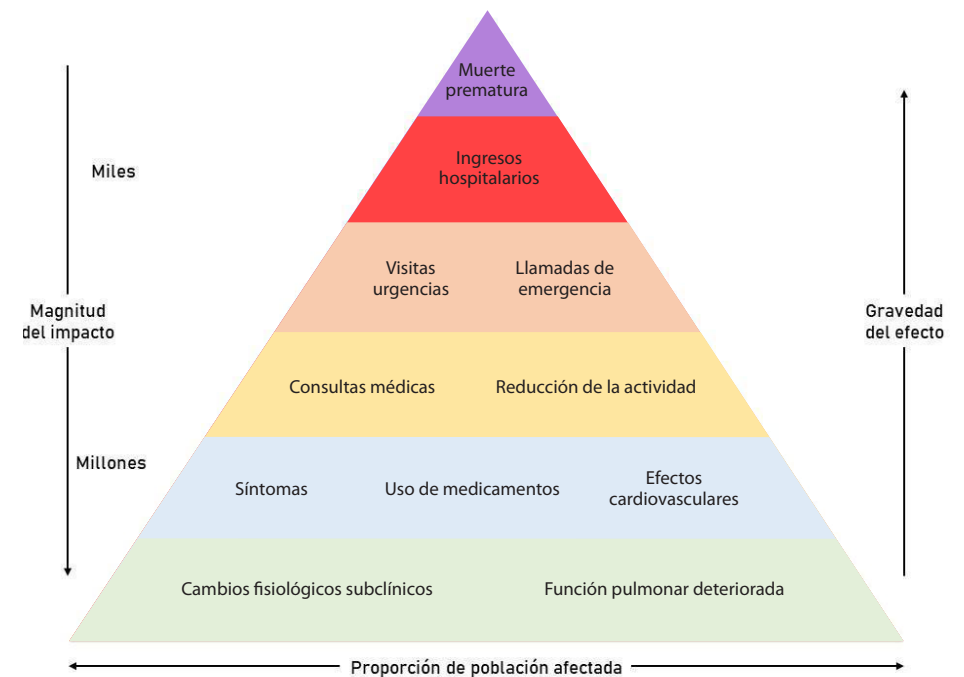
Cuando se habla de impactos sobre la salud, existe una tendencia general a centrarse en los efectos más graves. Sin embargo, la adecuada gestión de estos impactos requiere una mirada más amplia, que incluya desde las molestias que dificultan el día a día y afectan a la calidad de vida, las visitas a los centros de salud o el consumo de fármacos, hasta el aumento en el número de visitas a urgencias, de ingresos o de defunciones.

En el ámbito de la epidemiología, para representar los efectos que se asocian con distintos grados de severidad y frecuencia a la contaminación atmosférica, se emplea un esquema clásico, conocido como la pirámide de la contaminación del aire.

Esta pirámide ilustra cómo la frecuencia de aparición de un efecto sobre la salud asociado con la exposición a la contaminación atmosférica

está inversamente relacionada con su gravedad (figura 2.1). Así, la mortalidad asociada a los contaminantes atmosféricos se corresponde solo con el pico de la pirámide. Por el contrario, los efectos menos graves, como el incremento en el consumo de fármacos o los procesos subclínicos, son experimentados por mayor población que los efectos más graves, lo que precisa de la atención necesaria.

Figura 2.1. Pirámide de efectos sobre la salud asociados a contaminación atmosférica. Fuente: elaboración propia, adaptada de Andrews et al 1985, Ballester et al 1999.



2.4

DIFERENCIAS EN LA EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE A CORTO Y A LARGO PLAZO

La exposición a contaminantes se define como el contacto que una persona tiene con las sustancias nocivas presentes en el entorno. Existen diversas formas y vías de exposición. En el caso de la contaminación del aire, la más importante es la inhalatoria (al respirar) y, en menor medida, la dérmica (a través de la piel) o la ingestión (por deposición de contaminantes en polvo y alimentos)². Este contacto puede ocurrir en diferentes niveles y duraciones, clasificándose generalmente en exposición a corto plazo (aguda) y a largo plazo (crónica).

Cuando se habla de **exposición a corto plazo**, se entiende que esta se produce durante un período breve, como horas o días. Hay evidencia de que esta exposición puede causar efectos inmediatos (agudos), durante el mismo día o los siguientes. Entre las consecuencias en salud derivadas de la exposición a corto plazo se incluye la irritación de ojos, nariz y garganta, pero también otros resultados de mayor relevancia como el agravamiento de enfermedades respiratorias crónicas (como asma y bronquitis), el incremento de visitas a los servicios de urgencias, los ingresos hospitalarios³ o incluso la muerte a concentraciones muy elevadas.

² Adamiec E, Jarosz-Krzemińska E. Human Health Risk Assessment associated with contaminants in the finest fraction of sidewalk dust collected in proximity to trafficked roads. Sci Rep. 2019; 9(1):16364.

³ Instituto de Salud Carlos III. Impacto a corto plazo en España de la contaminación atmosférica sobre los ingresos hospitalarios urgentes por diferentes causas específicas y su estimación económica Edita: Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Madrid. 2025

La exposición a **largo plazo** es aquella que ocurre durante periodos más largos, como meses o años. Incluso a niveles bajos, una exposición durante varios años puede derivar en efectos en salud mucho más serios que los relacionados con la exposición a corto plazo.

Es conocido que la exposición crónica a la contaminación del aire es la que produce los efectos más significativos y es responsable de un mayor impacto en la salud que la exposición a corto plazo⁴. En este sentido, numerosos estudios muestran el papel de la contaminación del aire en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer, en la pérdida de esperanza de vida y en la mortalidad⁵.

DAÑO SILENCIOSO

La contaminación del aire puede actuar en el organismo sin que lo notemos, ya que no siempre provoca señales inmediatas como tos, irritación o sensación de falta de aire. En su lugar, desencadena procesos como el estrés oxidativo, la inflamación del organismo, alteraciones del sistema nervioso y cardiovascular y cambios en el desarrollo durante el embarazo. Estos procesos van actuando de forma continua y acumulativa, el daño se produce de manera progresiva y puede acabar contribuyendo a producir enfermedades respiratorias, cardiovasculares, neurológicas o del desarrollo.

⁴ A. Keswani, H. Akselrod, S.C. Anenberg. Health and clinical impacts of air pollution and linkages with climate change. NEJM Evid. 2022; 1(7), Article EVIDra2200068

⁵ WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.

2.5

PRINCIPALES EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL ORGANISMO

Los estudios que relacionan la exposición al aire contaminado con efectos adversos en el organismo humano son numerosos. De entre todos, el efecto más estudiado es la relación entre el aire contaminado y la mortalidad, para el que prácticamente la totalidad de estudios recientes encuentran una clara asociación⁶.

Además de los efectos en el número de defunciones y en otros resultados en salud como las visitas a urgencias, la contaminación atmosférica produce, a través de distintos mecanismos, efectos específicos en diferentes sistemas corporales. A continuación, se definen aquellos para los que se dispone de mayor evidencia.

⁶Ministerio de Sanidad. Impacto sobre la salud de la calidad del aire en España. Respuesta y desarrollo de la Medida Info 5 recogida en el Plan Nacional del Aire 2017-2019 (Plan Aire II). Madrid; 2019 [consultado el 12 de julio de 2025] Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/PLAN_AIRE_Medida_5_19_12_27.pdf

2.5.1 Sistema respiratorio

Los efectos adversos en la salud derivados de una deficiente calidad del aire tienen sus primeras manifestaciones en el sistema respiratorio, debido a que la principal vía de entrada de los contaminantes del aire en el organismo es a través de la respiración. La manera en la que los contaminantes reaccionan en este sistema va a derivar en una serie alteraciones.

El principal impacto es el estrés oxidativo, pues los radicales libres, metales y componentes orgánicos presentes en el aire pueden dañar las células pulmonares. La inhalación de aire contaminado también puede estimular respuestas inflamatorias en los pulmones y otros órganos, lo que contribuye al daño en los tejidos y a la disfunción pulmonar.

El estrés oxidativo y la inflamación se han relacionado con alteraciones como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)⁷ y el asma⁸, mientras que la exposición a largo plazo puede estar vinculada con la remodelación de las vías respiratorias y la inflamación crónica, causando enfermedades como la fibrosis quística, el enfisema y el cáncer de pulmón⁹.

Asimismo, la exposición al aire contaminado puede causar irritación en las vías respiratorias, broncoconstricción y dificultad para respirar, lo

⁷Riva D, Magalhães C, Lopes A, Lanças T, Mauad, Malm O et al (2011). Low dose of fine particulate matter (PM2.5) can induce acute oxidative stress, inflammation and pulmonary impairment in healthy mice. *Inhal Toxicol.* 2011 Apr;23(5):257-67.

⁸Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *Journal of Medical Toxicology* 2011; 8:166-75.

⁹Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease.* 2016; 1:E69-E74.

que aumenta la incidencia de infecciones respiratorias, como bronquitis, neumonía y rinitis¹⁰.

2.5.2 Sistema cardiovascular

A pesar de que pudiera parecer razonable que la contaminación del aire afecte principalmente al sistema respiratorio, los mayores riesgos para la salud surgen de sus efectos en el sistema cardiovascular. Se estima que aproximadamente dos tercios de las muertes relacionadas con la exposición a la contaminación atmosférica, especialmente con PM, son atribuibles a enfermedades cardiovasculares.

Se han identificado distintos mecanismos para explicar las asociaciones epidemiológicas en este sentido:

- Algunos contaminantes ejercen la mayoría de sus efectos en las vías respiratorias superiores, mientras que otros, como el NO₂ y las partículas finas, llegan a los alvéolos pulmonares.
- Muchos contaminantes pueden inducir inflamación y daño oxidativo en el pulmón, cuyos mediadores pasan a la circulación para causar efectos adversos sobre el sistema cardiovascular.
- Las partículas pequeñas, o sus constituyentes, también pueden pasar a la circulación.
- Los contaminantes del aire pueden alterar la función cardiovascular a través de cambios en la actividad neuronal y los factores sanguíneos circulantes.

Así pues, es probable que varias de las vías anteriores actúen en conjunto para inducir diferentes aspectos de la disfunción cardiovascular y en diferentes escalas de tiempo.

Los contaminantes atmosféricos perjudican la función cardiovascular ejerciendo efectos entre los que se incluyen la contracción y endurecimiento de las arterias, disminución de la relajación de los vasos sanguíneos, aumento de la presión arterial, cambios en la frecuencia y ritmo cardíacos, aumento de coagulabilidad de la sangre, inflamación de vasos sanguíneos y aceleración del crecimiento y desarrollo de la aterosclerosis, entre otras. Todos estos efectos tendrán su repercusión en la función cardiovascular.

La evidencia científica apunta a que una mayor exposición a la contaminación del aire a corto y a largo plazo se relaciona con la morbilidad y la mortalidad cardiovascular, con accidentes cerebrovasculares, presión arterial y cardiopatía isquémica. La exposición a corto plazo a partículas (PM_{2,5} y PM₁₀) y NO_x se han asociado con un mayor riesgo de hipertensión, de infarto de miocardio y de accidentes cerebrovasculares. Por su parte, la exposición a largo plazo a PM_{2,5} se ha asociado con mayor riesgo de aterosclerosis, infarto de miocardio, hipertensión y accidentes cerebrovasculares¹¹.

2.5.3 Sistema nervioso (incluye enfermedades mentales, trastornos del aprendizaje y de la conducta)

Las partículas contaminantes de menor tamaño pueden ingresar en el cerebro directamente a través de la circulación sanguínea o la

¹⁰ Rückerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrys J, Peters A. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology*. 2011; 23:555-92.

¹¹ de Bont J, Jaganathan S, Dahlquist M, Persson Å, Stafoggia M, Ljungman P. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *J Intern Med*. 2022 Jun; 291(6):779-800.

mucosa olfativa y allí desencadenar estrés oxidativo, respuestas inflamatorias y degeneración neuronal, contribuyendo así al desarrollo de enfermedades neurodegenerativas. El mecanismo más plausible actualmente es que el daño se produce, no directamente por las partículas, sino por el estado de inflamación sistémico que se produce, que se traduce también en neuroinflamación.

La exposición a contaminantes atmosféricos se ha asociado con diversas enfermedades del sistema nervioso central^{12,13}, como derrame cerebral¹⁴, enfermedad de Alzheimer¹⁵ y de Parkinson¹⁶. Los estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la contaminación del aire y las tasas de mortalidad y morbilidad por derrame cerebral. La exposición crónica a contaminantes atmosféricos también se ha relacionado con el deterioro cognitivo y el riesgo de trastornos del desarrollo neuronal en niños¹⁷.

¹² Babadjouni RM, Hodis DM, Radwanski R, Durazo R, Patel A, Liu Q et al. Clinical effects of air pollution on the central nervous system; a review. *J Clin Neurosci*. 2017 Sep; 43:16-24.

¹³ Costa LG, Cole TB, Dao K, Chang YC, Coburn J, Garrick JM. Effects of air pollution on the nervous system and its possible role in neurodevelopmental and neurodegenerative disorders. *Pharmacol Ther*. 2020 Jun; 210:107523.

¹⁴ de Bont J, Jaganathan S, Dahlquist M, Persson Å, Stafoggia M, Ljungman P. Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *J Intern Med*. 2022 Jun; 291(6):779-800.

¹⁵ Delgado-Saborit JM, Guercio V, Gowers AM, Shaddick G, Fox NC, Love S. A critical review of the epidemiological evidence of effects of air pollution on dementia, cognitive function and cognitive decline in adult population. *Sci Total Environ*. 2021 Feb 25; 757:143734.

¹⁶ Murata H, Barnhill LM, Bronstein JM. Air Pollution and the Risk of Parkinson's Disease: A Review. *Mov Disord*. 2022 May; 37(5):894-904.

¹⁷ Genc S, Zadeoglulari Z, Fuss SH, Genc K. The adverse effects of air pollution on the Nervous System. *Journal of Toxicology Article*. 2012; 782462.

2.5.4 Sistema reproductivo y trastornos de la fertilidad

Existe evidencia que relaciona la contaminación del aire con efectos adversos en el embarazo y la salud neonatal, resaltando su importancia como un marcador de salud y desarrollo poblacional.

La interacción de los contaminantes atmosféricos con el sistema reproductivo suele ser indirecta. La alteración del intercambio placentario, la disrupción endocrina y el estrés oxidativo e inflamatorio son algunos de los mecanismos clave que pueden afectar el desarrollo fetal y la salud materna durante el embarazo.

Efectos relacionados con la contaminación atmosférica, como el bajo peso al nacer, el retraso en el crecimiento intrauterino y los partos prematuros^{18,19}, pueden tener consecuencias a largo plazo en la salud neonatal y el desarrollo infantil. Asimismo, se han observado asociaciones entre la exposición a contaminantes atmosféricos y problemas de fertilidad²⁰, abortos involuntarios²¹ y mortalidad infantil²².

¹⁸ Estarlich M, Ballester F, Davdand P, Llop S, Esplugues A, Fernández-Somoano A et al. Exposure to ambient air pollution during pregnancy and preterm birth: A Spanish multicenter birth cohort study. *Environ Res*. 2016 May; 147:50-8.

¹⁹ Arroyo V, Linares C, Díaz J. Premature births in Spain: Measuring the impact of air pollution using time series analyses. *Sci Total Environ*. 2019;660:105-14.

²⁰ Mahalingaiah S, Hart JE, Laden F, Farland LV, Hewlett MM, Chavarro J et al. Adult air pollution exposure and risk of infertility in the Nurses' Health Study II. *Human Reproduction*. 2016; 31:638-47.

²¹ Faiz AS, Rhoads GG, Demissie K, Kruse L, Lin Y, Rich DQ. Ambient air pollution and the risk of stillbirth. *American Journal of Epidemiology*. 2012; 176:308-16.

²² Karimi B, Shokrinezhad B. Air pollution and mortality among infant and children under five years: A systematic review and meta-analysis. *Atmospheric Pollution Res*. 2020;11(6):61-70.

2.5.5 Metabolismo

La exposición a contaminantes atmosféricos, especialmente a PM, O₃ y NO₂, se ha asociado con un impacto negativo en el metabolismo. Esto es debido a que los contaminantes inhalados pueden activar la respuesta inflamatoria y los radicales libres pueden dañar las células y tejidos, incluidas las mitocondrias, y alterar por tanto el metabolismo energético. Además, una deficiente calidad del aire puede actuar alterando la regulación hormonal del metabolismo y, en su caso, afectar la composición y función de la microbiota intestinal, cuyo papel en el metabolismo se dirige a facilitar la captura de energía y nutrientes de los alimentos consumidos y la producción de metabolitos esenciales.

Esto da lugar a que la contaminación del aire se haya relacionado con un mayor riesgo de sufrir enfermedades metabólicas como la obesidad^{23,24}, sobre todo la exposición a PM en población infantil y adolescente. También se ha asociado con la diabetes tipo 2^{25,26}, ya que la inflamación sistémica y el estrés oxidativo pueden contribuir a la resistencia a la insulina, y con el síndrome metabólico^{27,28}.

²³ An R, Ji M, Yan H, Guan C. Impact of ambient air pollution on obesity: a systematic review. *Int J Obes (Lond)*. 2018 Jun; 42(6):1112-26.

²⁴ Shi X, Zheng Y, Cui H, Zhang Y, Jiang M. Exposure to outdoor and indoor air pollution and risk of overweight and obesity across different life periods: A review. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2022 Sep 1; 242:113893.

²⁵ Bellou V, Belbasis L, Tzoulaki I, Evangelou E. Risk factors for type 2 diabetes mellitus: An exposure-wide umbrella review of meta-analyses. *PLoS One*. 2018 Mar 20; 13(3):e0194127.

²⁶ Parasin N, Amnuaylojaroen T, Saokaew S, Sittichai N, Tabkhan N, Dilokthornsakul P. Outdoor air pollution exposure and the risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic umbrella review and meta-analysis. *Environ Res*. 2025; 269:120885.

²⁷ Kim HJ, Hwang J, Park JH. Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Metabolic Syndrome and Its Components. *J Obes Metab Syndr*. 2025; 34(2):91-104.

²⁸ Dai C, Sun X, Wu L, Chen J, Hu X, Ding F et al. Associations between exposure to various air pollutants and risk of metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Int Arch Occup Environ Health*. 2024 Aug; 97(6):621-639.

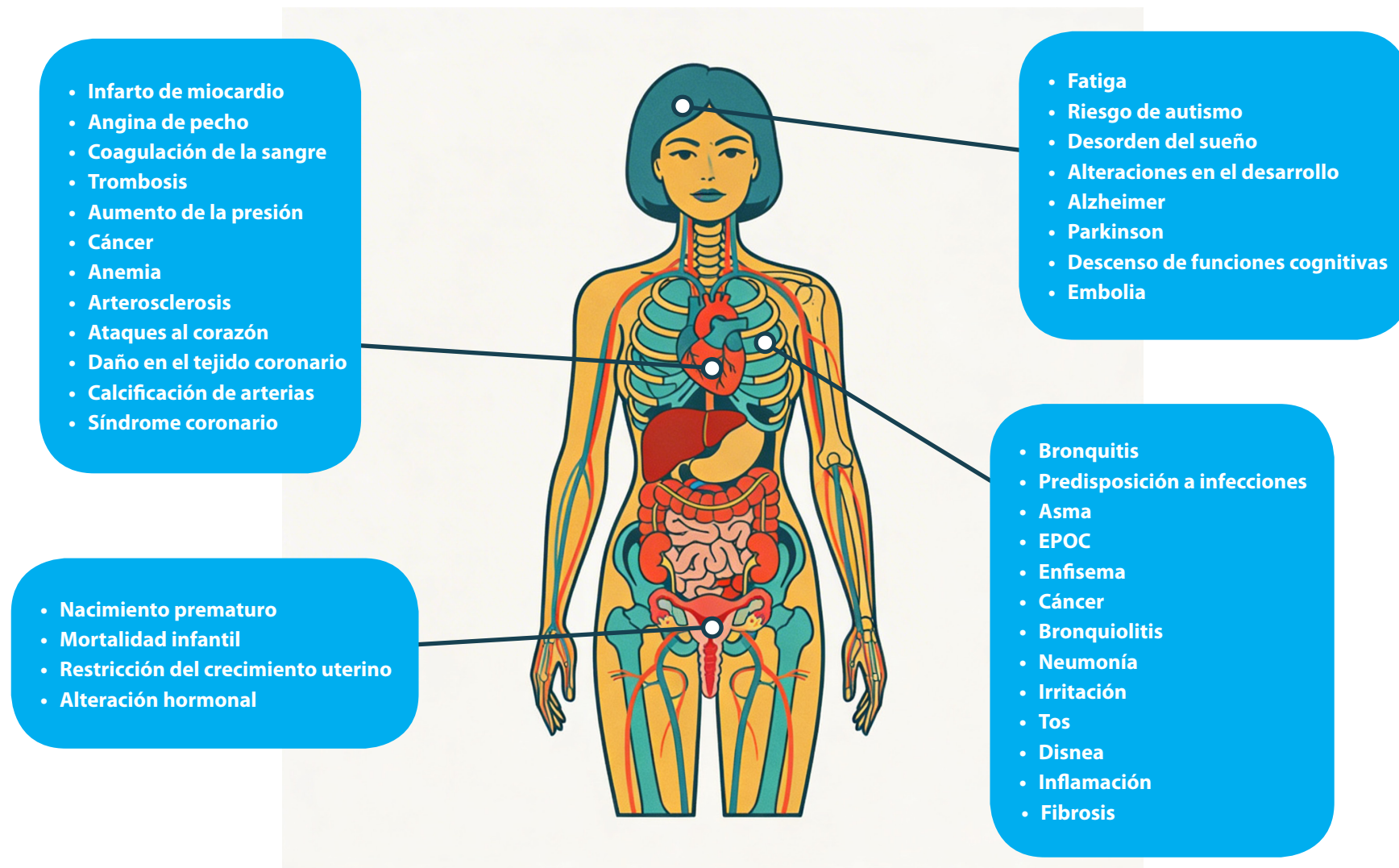
2.5.6 Cáncer

Después de una amplia revisión de la literatura científica disponible, los expertos de la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC) concluyeron que hay suficiente evidencia científica de que la calidad del aire exterior produce cáncer de pulmón en las personas. También se ha señalado una asociación positiva entre calidad del aire y un incremento del riesgo de cáncer de vejiga. En cuanto a contaminantes específicos, las partículas, han sido clasificadas como carcinógenas para el ser humano²⁹.

En la figura 2.2. se presentan resumidas, por sistema afectado, aquellas complicaciones y afecciones más relevantes cuyo riesgo se ve aumentado con motivo de la mala calidad del aire.

²⁹ Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). [citado el 4 de octubre de 2025] Disponible en : http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221_F.pdf

Figura 2.2. Principales afecciones derivadas de la exposición a la contaminación del aire. Fuente: elaboración propia



2.6 ¿QUIÉNES SE VEN MÁS AFECTADOS POR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE?

Toda la población se ve expuesta a la contaminación atmosférica, pero existen determinados colectivos que, por sus características, van a presentar síntomas con mayor rapidez o intensidad.

De manera general, los grupos de población más susceptibles, debido a factores biológicos o intrínsecos, son la población en edad infantil, las personas de edad avanzada, las mujeres embarazadas y aquellas que presentan enfermedades crónicas. Los grupos más vulnerables, a causa de factores no biológicos o extrínsecos, son las personas con bajo nivel socioeconómico. Deben considerarse también los grupos que están en riesgo de tener una mayor exposición por vivir cerca de zonas contaminadas o de alto tráfico, personas que ejercen su actividad laboral en la calle o aquellas que trabajan en industrias o en el transporte.

Cabe matizar que, las conclusiones extraídas para estos grupos podrían no ser ciertas para todos los individuos del grupo ni para todas las ubicaciones en general, ya que los factores del estilo de vida individual, los factores hereditarios y los entornos de vida y trabajo afectan la vulnerabilidad y la exposición.

A continuación, se ofrece información más detallada sobre las poblaciones que pueden verse especialmente afectadas con el objetivo de facilitar su identificación y caracterización cuando se diseñen e implanten estrategias dirigidas a la mejora de calidad del aire.

Figura 2.3. Principales grupos afectados por la contaminación del aire.
Fuente: elaboración propia



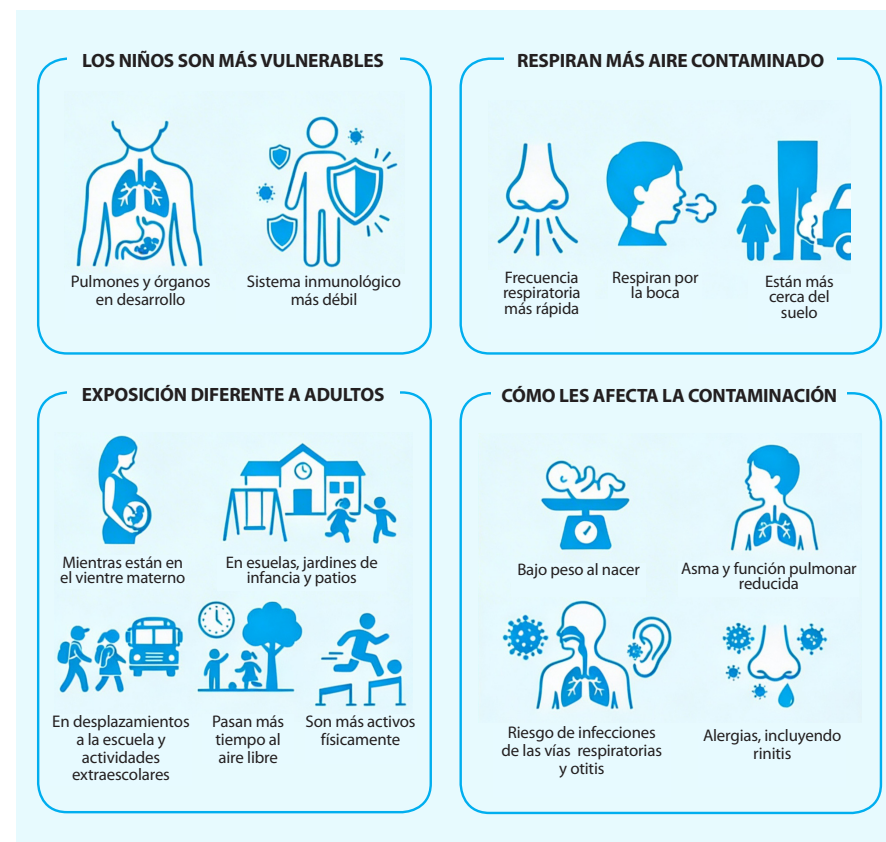
2.6.1 Edad infantil

La etapa prenatal y los primeros años postnatales son periodos críticos del desarrollo, incluyendo procesos de diferenciación y proliferación celular y desarrollo de tejidos, entre ellos, los pulmones, en los cuales los mecanismos de reparación y las vías de desintoxicación no están totalmente desarrollados. Esta circunstancia conlleva que estos periodos sean especialmente vulnerables a los efectos de las exposiciones ambientales, ya que estas pueden inducir cambios estructurales y fisiológicos permanentes que pueden aumentar el riesgo de morbilidad en etapas posteriores y en general, a lo largo de la vida. Un desarrollo pulmonar alterado durante la infancia es un factor de riesgo relevante para enfermedades respiratorias crónicas a lo largo de la vida, como el asma o EPOC.

Existe una creciente evidencia de que los efectos de una exposición continuada a la contaminación del aire pueden suponer una disminución generalizada en la función pulmonar en la población infantil³⁰, siendo la evidencia más clara para $PM_{2,5}$ y NO_2 , y menos consistente para otros compuestos como PM_{10} y O_3 .

Además, hay que tener en consideración que las personas en edad infantil tienen una frecuencia respiratoria más elevada que las adultas. Esto se traduce en que inhalan una mayor cantidad de aire (y, por tanto, de contaminantes) en relación con su peso corporal. Ciertos comportamientos y actividades propias de la infancia, como jugar cerca del suelo, pueden aumentar la exposición a contaminantes que se encuentran más cerca de este, como el material particulado.

Figura 2.4. Aspectos principales relacionados con la exposición de la población infantil a la contaminación del aire. Fuente: elaboración propia



2.6.2 Personas de edad avanzada

Se trata de un grupo poblacional con mayor fragilidad y con una mayor prevalencia de enfermedades crónicas que determinan su mayor susceptibilidad. Además, hay que tener en consideración que se trata de un grupo en aumento. Según las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística, la población mayor de 65 años pasará del 20,7 % en 2025 al 29,9 % en 2049.

³⁰ García E, Rice MB, Gold DR. Air pollution and lung function in children. J Allergy Clin Immunol. 2021; 148(1):1–14.

Con el envejecimiento, los pulmones tienden a volverse menos eficientes y pierden elasticidad. Esto hace que para las personas mayores sea más difícil eliminar eficazmente los contaminantes inhalados, lo que aumenta el riesgo de problemas respiratorios. El sistema inmunológico también se debilita con la edad, lo que puede derivar en la menor capacidad para combatir las infecciones y los efectos inflamatorios causados por la contaminación.

La reducción de la capacidad pulmonar forma parte del envejecimiento y hay evidencia de que las personas ancianas constituyen uno de los grupos más afectados cuando se exponen a la contaminación, existiendo un incremento de la mortalidad cardiopulmonar o por causas respiratorias (principalmente EPOC y neumonía), un aumento en el número de hospitalizaciones y de visitas a urgencias (debidas mayormente a exacerbaciones de EPOC y asma e infecciones respiratorias, sobre todo, neumonías). Además, cabe señalar que el sistema cardiovascular experimenta cambios naturales con la edad, que a menudo conllevan una disminución de la eficiencia y un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Los cambios clave incluyen el endurecimiento de las arterias, el aumento de la presión arterial y alteraciones en la función del músculo cardíaco y de las válvulas. Es por ello, que la exposición a contaminación atmosférica hace especialmente susceptible a este colectivo frente a efectos en su sistema cardiovascular.

2.6.3 Embarazadas

El embarazo es un periodo crítico de vulnerabilidad tanto para las madres embarazadas como para el feto en desarrollo. Los cambios fisiológicos que se producen en la mujer embarazada y el sistema respiratorio del ser humano en formación (que se inicia en torno a la ter-

cera semana de gestación y su maduración no se completa hasta los 8 años), convierten al periodo gestacional en un momento crítico a la exposición a factores de riesgo como la contaminación atmosférica. Además, durante el embarazo aumenta la frecuencia respiratoria, se reduce el volumen de aire presente en los pulmones en un 20-30 % y aumenta el volumen corriente de aire en un 30-50 %.

Existe evidencia científica de que la contaminación atmosférica (gases y partículas ultrafinas) inhalada por la madre atraviesa los alvéolos pulmonares y la barrera placentaria, llegando directamente al feto. Aunque esta permeabilidad depende del momento de la gestación, durante los primeros meses, el grosor de la barrera placentaria es mayor y se va reduciendo a medida que avanza el embarazo, facilitando la entrada de contaminantes.

La exposición a contaminación del aire durante el embarazo puede afectar al desarrollo del feto. Se observa asociación con restricción de crecimiento fetal intrauterino, bajo peso al nacer, embarazos prematuros y alteraciones del desarrollo neurológico.

2.6.4 Personas con enfermedades crónicas

En el caso de personas con asma, EPOC y otras enfermedades crónicas, incluidas las cardiovasculares y la diabetes, el daño celular y la inflamación provocados por la contaminación del aire ejercen una presión adicional sobre los pulmones, el corazón y otros órganos que ya están comprometidos por la enfermedad. Esto puede resultar en un empeoramiento de los síntomas, un mayor uso de medicamentos, visitas más frecuentes a los servicios de urgencias y hospitalizaciones, una reducción general de la calidad de vida e incluso una muerte prematura.

2.6.5 Otros grupos especialmente expuestos

Ciertos grupos de población son particularmente sensibles a la contaminación del aire debido a un incremento significativo en su exposición cotidiana a los contaminantes atmosféricos. Entre estos grupos se encuentran las personas que trabajan al aire libre y que realizan sus labores expuestas directamente a los gases de escape de vehículos, partículas en suspensión y otros contaminantes liberados por actividades industriales o de construcción. Aunque deben estudiarse las circunstancias concretas, sirvan como ejemplo las personas que trabajan en la construcción, jardinería, agricultura y mantenimiento urbano, así como las que se dedican al sector del transporte o de la industria.

Además, las personas que viven o trabajan en áreas urbanas densamente pobladas y cercanas a carreteras con tráfico intenso también enfrentan un riesgo elevado de exposición a la contaminación del aire. Las poblaciones residentes en estas zonas urbanas, incluyendo a aquellas en edad infantil que asisten a escuelas cerca de carreteras con tráfico pesado y las que pasan una mayor cantidad de tiempo al aire libre o caminan regularmente por aceras congestionadas, están expuestas a mayores niveles de contaminantes.

2.6.6 Personas con menor nivel socioeconómico

Las personas pertenecientes a grupos de nivel socioeconómico más bajo, como aquellas desempleadas, con bajos ingresos o nivel inferior de educación, tienden a verse más afectados por los riesgos ambientales para la salud, debido a su mayor exposición y mayor vulnerabilidad.

Existe evidencia que sugiere que la salud de las personas de menor nivel socioeconómico tiende a verse más afectada por la contamina-

ción atmosférica que la salud de la población general³². Esto es debido a que su sensibilidad puede verse incrementada por su peor estado de salud general, como resultado de otros factores, como la dieta, el estilo de vida, la peor atención médica o el estrés.

También hay que considerar que, de manera general, los barrios con menores ingresos suelen estar cerca de grandes vías de transporte o polígonos industriales y sus viviendas presentan peores instalaciones y menor protección frente a la contaminación del aire exterior.

³² López-Bueno JA, Díaz J, Iriso M, Ruiz-Páez R, Navas-Martín MA, Linares C. Emergency Hospital Admissions for Cardiovascular Causes Attributable to Air Pollution and Extreme Temperatures in Spain: Influence of Economic and Demographic Factors in a Nationwide Study. J Urban Health. 2025; 102(4):813-29.

2.7

DETERMINACIÓN DE LOS IMPACTOS EN SALUD DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Existen distintos trabajos que, a través de diferentes metodologías, nos ofrecen información sobre el impacto de la contaminación atmosférica y permiten valorar la gravedad de este problema para la salud pública. En este sentido, es de gran utilidad contar con herramientas adecuadas para el análisis del problema que aporten argumentos sólidos sobre la necesidad de intervenir rápida y eficazmente y que aceleren la toma de decisiones. Por su especial relevancia, se hace referencia a continuación a distintas metodologías y herramientas disponibles en este campo.

2.7.1 Global Burden of Diseases, Injuries and Risk Factors (GBD)

Analiza las enfermedades y sus factores de riesgo en los países de todo el mundo, en un formato que permite su comparación. La carga de cada enfermedad y de cada factor de riesgo se calcula en años de vida ajustados por discapacidad (DALYs, en inglés). Este indicador combina el impacto en la mortalidad (años de vida perdidos por mortalidad prematura) y en la morbilidad (años de vida vividos con una salud reducida).

Las principales conclusiones del análisis de los datos del año 2021 para los 27 países de la Unión Europea¹⁸ para la contaminación atmosférica son las siguientes:

- La contaminación atmosférica es el factor de riesgo ambiental más importante en Europa.
- La reducción de la contaminación atmosférica a los niveles de las Guías de Calidad del Aire de la OMS, evitaría un número significativo de muertes: 253 000 para la exposición a PM_{2,5}, 52 000 para la exposición a NO₂ y 22 000 para la exposición a O₃. En España, estas cifras se sitúan en 14 070, 4 550 y 2 280, respectivamente. Hay que señalar que estas son estimaciones individuales para cada contaminante y no deben ser añadidas porque presentan algún grado de correlación entre sí (como es el caso de las PM y el NO₂).
- Por enfermedades específicas, la carga de enfermedad más im-

¹⁸ Agencia Europea de Medio Ambiente. Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023 [citado el 23 de julio de 2025] Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution/>

portante causada por las partículas $PM_{2,5}$ es el infarto de miocardio y la causada por NO_2 , la diabetes *mellitus*.

- La contribución de mortalidad y morbilidad de cada enfermedad específica causada por la contaminación atmosférica es variable. Así, la mortalidad es predominante en el infarto de miocardio o el cáncer de pulmón y la morbilidad es predominante en el asma.

2.7.2 Ranking ISGlobal de contaminación del aire de ciudades

El objetivo de este proyecto es estimar los impactos en la salud de la planificación urbana y del transporte en 1 000 ciudades de 30 países europeos, incluyendo un número importante de ciudades españolas. Además de la contaminación del aire, el proyecto también evalúa el déficit de exposición a espacios verdes, el ruido del tráfico rodado y el índice de diseño urbano sostenible.

El estudio hace una estimación de la carga anual de mortalidad por contaminación del aire para cada ciudad y proporciona dos *rankings*: uno para $PM_{2,5}$ y otro para NO_2 . Las puntuaciones se calculan con un algoritmo que tiene en cuenta las tasas de mortalidad, el porcentaje de mortalidad evitable y los años de vida perdidos. A través de los datos proporcionados podemos saber qué ciudades europeas tienen mayor y menor mortalidad debida a exposiciones urbanas.

Esta información puede consultarse a través de la página web indicada para cada una de las ciudades participantes. A través de esta también pueden obtenerse datos sobre la contribución de los distintos sectores a la calidad del aire en cada ciudad.

2.7.3 Health impact assessment

La OMS pone a disposición de las personas interesadas AirQ+, que constituye una herramienta informática para la evaluación del riesgo sanitario de la contaminación atmosférica. Permite calcular el número de efectos perjudiciales que se pueden atribuir a un factor de riesgo determinado. Para cada contaminante se calcula la diferencia en su impacto en la mortalidad o la morbilidad, comparando los niveles actuales con escenarios teóricos de mejora de calidad del aire. Es la metodología empleada para las recomendaciones de la OMS.

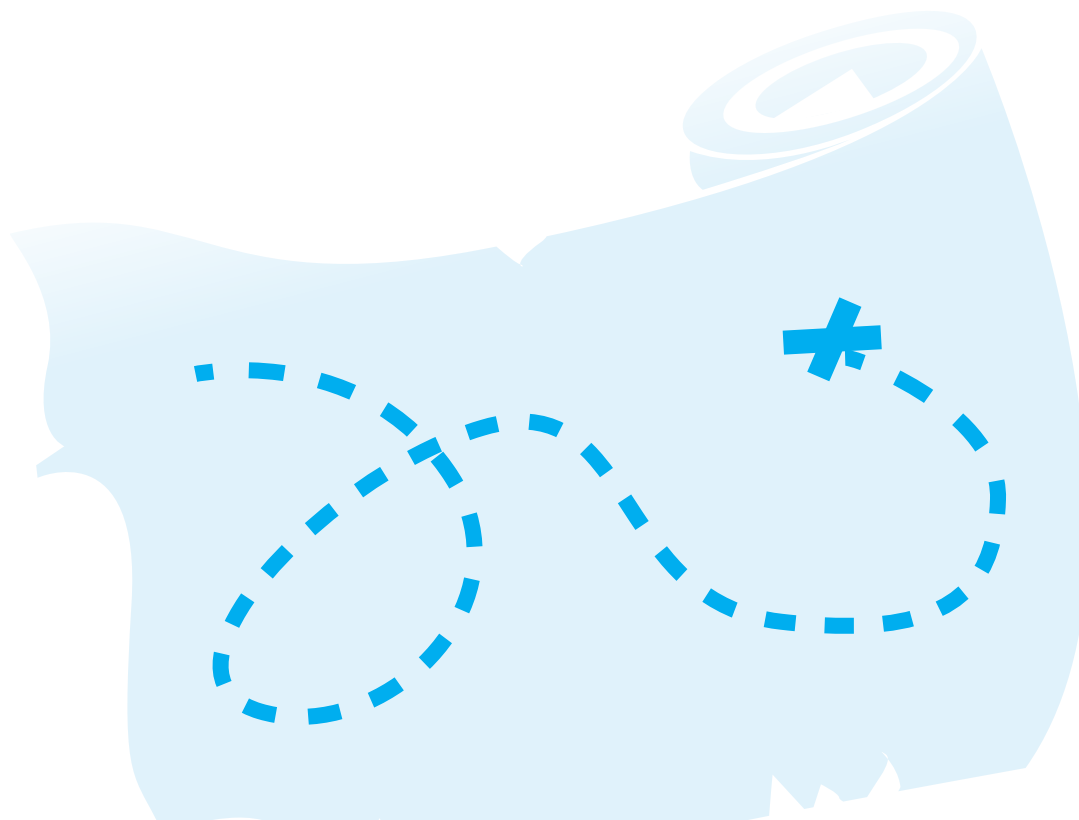


A modo de ejemplo, en un estudio llevado a cabo con esta metodología en la ciudad de [Barcelona](#)³³, se estimó que la exposición a largo plazo a los niveles de $PM_{2,5}$ y NO_2 de los últimos años (2020-2024) son responsables de alrededor de 1 300 muertes, 800 casos nuevos de asma infantil y 120 casos nuevos de cáncer de pulmón cada año en la ciudad. Este impacto en la salud es un 32 % inferior al estimado para los años 2018-2019 y se reduciría en un 38 % más si Barcelona cumpliera con los límites legales del 2030.

³³ Font L, Rico M, Arimon J, Gómez A. Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona 2024. Barcelona: Agència de Salut Pública de Barcelona; 2024. Disponible en: https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2025/07/Informe_qualitat-aire-Barcelona-2024-250709.pdf

3 Cómo actuar para mejorar la calidad del aire

[LUIS MOYA RUANO, DAVID A. CÁCERES MONLLOR, ÁNGELES CRISTÓBAL LÓPEZ, ENCARNACIÓN DE LA VEGA PASTOR, ANNA GÓMEZ GUTIÉRREZ, EVA PÉREZ GABUCIO, MARC RICO RAMON, MAR VIANA RODRÍGUEZ]



Este capítulo se centra en cómo actuar para mejorar la calidad del aire, después de haber explicado sus fundamentos, relevancia, regulación y la conveniencia de que estas políticas se implementen a nivel local. Para ello, empezaremos por aprender cómo conocer la situación concreta de la calidad del aire, de dónde obtener los datos, cómo interpretarlos y cómo nos ayudan a determinar nuestro punto de partida.

Seguidamente, explicaremos cómo pueden afrontar las entidades locales el reto de mejorar la calidad del aire, la forma de efectuar un diagnóstico de situación, de marcarse metas y objetivos, cómo diseñar estrategias y planes, con qué organismos hay que contar, técnicas para implicar a la población y contar con su punto de vista, qué medidas implementar, cómo realizar su seguimiento, cómo evaluar sus resultados y, finalmente, la conveniencia de incorporar este objetivo de mejorar la calidad del aire en planes y estrategias e, incluso, en el funcionamiento cotidiano del ayuntamiento.

La idea es no solo dejar claro cuáles son las etapas fundamentales y cómo se realizan, sino explicar cómo se relacionan unas con otras, quiénes son los actores principales, proporcionar orientaciones sobre buenas prácticas, elementos que pueden ayudar, ejemplos a seguir y un esquema lógico que nos ayude a no perder de vista el resultado final: proteger la salud de la población y dar cumplimiento a las obligaciones legales, para evitar problemas y posibles sanciones.



3.1 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información sobre el estado de calidad del aire es el punto de partida para poder empezar a planificar. Precisamente, se define la evaluación de la calidad del aire como el conjunto de métodos o procesos que nos permiten disponer de información sobre las concentraciones de un contaminante (medidas, calculadas, predichas o estimadas) en el aire ambiente o sus efectos. La legislación europea obliga a realizar esta evaluación de forma periódica en todo el territorio.

La primera parte del proceso se denomina vigilancia de la calidad del aire e incorpora el conjunto de procesos que nos permite determinar la presencia de contaminantes atmosféricos, así como la evolución de sus concentraciones, tanto en el tiempo como en el espacio. Contaremos así con datos que tenemos que interpretar en el sentido de si el

riesgo para la población es aceptable. Por ello, en una segunda fase se comparan estos datos obtenidos con unos niveles de referencia. Existen dos tipos de riesgos que gestionar, los asociados a exposiciones de breve duración a la contaminación atmosférica y los derivados de exposiciones a largo plazo (años). Tras la comparación, convertimos los datos en información útil para la toma de decisiones.

Finalmente, una última etapa está relacionada con la necesidad de que la información relacionada con la calidad del aire y con las actuaciones derivadas lleguen a todo el público. Igualmente, se debe fomentar la recogida de información por parte de la ciudadanía, a través de la participación ciudadana en la toma de decisiones y con la expresión de sus expectativas y quejas. De esta manera, además de fomentar la transparencia y el buen gobierno, las personas podrán tomar decisiones mejor informadas y proteger su salud, exigir a los responsables el cumplimiento de sus obligaciones y sentirse partícipes e implicadas en las actuaciones que se llevan a cabo.

3.1.1. Vigilancia de la calidad del aire

La información del estado de calidad del aire es el punto de partida para evaluar, actuar y planificar. Sin embargo, no es práctico para un ayuntamiento optar por obtener sus propios datos pues resulta muy caro y complejo. Salvo en contadas ocasiones (Ayuntamientos de Madrid, Zaragoza y Valladolid), los ayuntamientos no gestionan sus redes de calidad del aire, sino que suelen ser las CC.AA. y ciudades autónomas las encargadas de gestionar la red dentro de su ámbito competencial.

Los datos se obtienen a partir de mediciones, aunque se admite en ciertos casos (tras probar que las concentraciones de los contaminantes son bajas) que provengan de cálculos, estimaciones o predicciones efectuadas por modelización. Otros usos de la modelización pueden ser la estimación del efecto de medidas o afinar en el estudio de apor-

tación de fuentes. En la directiva sobre la calidad del aire ambiente se menciona expresamente el uso de información satelital (componente de observación de la Tierra del Programa Espacial de la Unión, en particular el Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus), pero en estos momentos solo es un objetivo a medio/largo plazo.

Los datos medidos son siempre más fiables. Las mediciones fijas permiten medir contaminantes en lugares fijos ya sea de forma continua o aleatoria, con un número de mediciones suficientes para determinar los niveles observados de conformidad con los objetivos de calidad del aire. Como complemento a las mediciones fijas puede obtenerse información a partir de unidades móviles, equipos portátiles y difusores pasivos que aporten a un coste muy inferior otro tipo de mediciones y con mayor desagregación espacial.

Para poder interpretar los datos, debemos tener en cuenta el tipo de estación de vigilancia de donde proceden:

- Según el **tipo de área** en que están, distinguimos entre estaciones urbanas, suburbanas y rurales.
- Según la **fuentes predominante**, distinguimos entre estaciones de tráfico, industriales o de fondo.

La normativa y los modelos de representatividad establecen criterios de implantación que deben cumplir las estaciones para garantizar la fiabilidad de los datos que caracterizarán el estado de nuestro municipio. Entre otras cuestiones, se especifica cómo determinar el espacio geográfico, tipo de entorno y origen de la contaminación al que representan, dónde y cómo ubicar las cabinas de medición, qué contaminantes medir y con qué métodos y frecuencia de medición.

De manera general, y salvo el caso de las partículas, los datos se obtienen de forma continua y se agregan en datos periódicos promediados, normalmente horarios, para ganar en estabilidad y comparabilidad. A partir de los datos horarios se pueden obtener medias diarias y anuales. Los datos horarios o diarios de los que se dispone en tiempo casi real son provisionales, pero son empleados para gestionar exposiciones de breve duración, pudiendo ayudarse de datos de previsiones obtenidos por modelización.

Las mediciones se almacenan en bases de datos y tras un proceso de validación que compruebe su fiabilidad, se consolidan como datos definitivos. También se agregan para obtener una media anual. No todos los datos que se midieron (y usaron) se incluyen en esta media: por un lado, se eliminan algunos inválidos (por ejemplo, si se demuestra que hubo avería en el medidor o mala calibración); por otro, se realizan correcciones sobre las aportaciones de origen natural (protocolos para intrusiones saharianas, aerosol marino e incendios).

3.1.2. Evaluación de la calidad del aire

Se denomina evaluación de la calidad del aire cualquier método utilizado para medir, calcular, predecir o estimar el nivel de un contaminante en el aire ambiente o sus efectos. Los resultados obtenidos deberán compararse con un estándar para ver si se cumple el objetivo marcado. Este estándar puede provenir de requisitos legales o de niveles más exigentes que nos hayamos marcado en estrategias propias y ciclos anteriores de planificación. La normativa obliga a evaluar los siguientes contaminantes: SO_2 , NO_2 , NO_x , PM (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), C_6H_6 , CO, As, Cd, Pb, Ni, BaP y el O_3 . Cuando hay más de un dato (bien por evaluarse varios periodos y/o por existir varias estaciones que miden el contaminante) la regla que aplica es que el peor (más elevado) de los datos es el que se usa para caracterizar toda la zona.

Exposiciones de breve duración

Esta evaluación aplica únicamente para PM_{10} , $PM_{2,5}$, O_3 , NO_2 y SO_2 y sirve para identificar episodios breves de contaminación, es decir, aquellos periodos en que el nivel de concentración de uno o varios contaminantes superan unos umbrales denominados de información y de alerta. El nivel de concentración se determina a partir de datos provisionales de medias horarias o diarias, aunque podrían usarse datos obtenidos de aplicaciones de modelización u otras herramientas predictivas.

Cuando se produce una superación del nivel de alerta, el responsable de la red comunicará este hecho a las autoridades competentes, incluidas las autoridades encargadas de informar a la población en general, indicando las actuaciones que deberán ponerse en marcha para reducir la contaminación a niveles seguros y proteger a la población disminuyendo su exposición (especialmente en el caso de grupos vulnerables). En el caso de superación por umbral de información será necesario informar a la población. Los umbrales de información y alerta normativos se incluyen en el Anexo 2.

La normativa obliga a diseñar planes de acción a corto plazo cuando exista el riesgo de superaciones de uno o varios umbrales de alerta, para reducir el riesgo y limitar la duración de estos episodios. Los planes deben ser liderados por el gestor de la red, pero en su diseño e implementación deben participar activamente las entidades locales.

Exposiciones de mayor duración

Para su evaluación se usan datos definitivos consolidados en medias anuales y se comparan frente a los valores límite y los valores objetivo del Anexo 2, que como vemos, se irán haciendo más estrictos paulatinamente: el periodo transitorio de adaptación tiene previsto finalizar en 2030 como regla general.



Existe un documento de referencia, el [Plan Marco de Acción a Corto Plazo en caso de episodios de contaminación del aire ambiente por \$PM_{10}\$, \$PM_{2,5}\$, \$NO_2\$ y \$SO_2\$](#) que puede servir de ayuda. Este Plan establece un marco de actuación común para las diferentes administraciones de tal manera que, tanto estas como los ciudadanos dispongan de información sobre la superación de los umbrales de contaminación contemplados en el Plan Marco y sobre qué actuaciones se pudieran poner en marcha en cada uno de los niveles de actuación.

La superación de estos valores límite obliga a aprobar un plan de medidas de mejora de la calidad del aire para que, en el plazo más breve posible, se remedie esta situación (se da un máximo de 4 años). El reiterado incumplimiento de este objetivo puede llevar al inicio de un procedimiento de infracción, a una sentencia condenatoria y la sanción económica al Estado miembro, que se repercute a la administración o administraciones responsables.

La Directiva 2024/2881 (art. 18) permite prorrogar algunos plazos de cumplimiento, siempre y cuando la autoridad competente presente hojas de ruta de calidad del aire antes del 31 de diciembre de 2028 e informes de ejecución periódicos que demuestren que se va por el buen camino: estas hojas tienen estructura y objetivos similares a los de un plan de medidas de mejora de la calidad del aire.

Como en el caso anterior, lo habitual es que el liderazgo en la redacción y aprobación de estos planes corresponda a los gestores de las redes, pero contando con la participación local. En la normativa se prevé que los municipios propongan medidas en el área de sus com-

petencias, especialmente en el caso de la regulación del tráfico urbano motorizado. Como ayuda, recordamos que se proporciona un listado de las medidas que se pueden adoptar, incluidas en las fichas del capítulo 4 de esta guía.

3.1.3. Información a la población sobre calidad del aire

La información a la población sobre la calidad del aire y sus efectos es esencial para proteger su salud, sobre todo, cuando se trata de grupos vulnerables o en situaciones de elevada contaminación. Para ello, es necesario disponer de sistemas de información de amplia difusión (sobre todo, digitales), diversos canales (adaptados al público objetivo) y que la información se muestre de manera sencilla, clara y fácilmente comprensible para todos.

La [Directiva 2024/2881](#) obliga a que se facilite información actualizada y fácilmente comprensible acerca de las concentraciones en el aire ambiente de los contaminantes regulados, así como sobre los efectos en la salud, los planes de calidad del aire, las hojas de ruta de calidad del aire y los planes de acción a corto plazo, siempre que existan.

Un ejemplo de buenas prácticas en la difusión de información es el [Visor de Calidad del Aire del MITERD](#) que permite consultar en tiempo real tanto los datos de los contaminantes como el Índice de Calidad del Aire (ICA) asociado.

Incluye recomendaciones sanitarias para la población general y la población sensible, así como la tendencia del estado de la calidad del aire en los últimos meses.

Asimismo, debe proporcionarse información oportuna sobre las superaciones efectivas o previstas de los umbrales, previsiones de la evolución esperada en las próximas horas o días, tipo de población afectada, los posibles efectos para la salud y recomendaciones de actuación, así como información sobre la posible causa de las superaciones y de las medidas que se están tomando para reducir los niveles de contaminación y la exposición de la población.

Esta divulgación corresponde a la administración responsable de la información, en general, los responsables de las redes de vigilancia. No obstante, es una buena práctica que los medios de información municipales incorporen esta información o enlaces a la misma. Se recomienda además permitir la interacción con el público, bien habilitando espacios de preguntas y respuestas en foros, realizando encuestas o incluyendo buzones de sugerencias.

Otro de los canales que están impulsando las administraciones, por su facilidad de acceso, son las aplicaciones móviles. Entre ellas, podemos mencionar la [aplicación Air Quality Index App](#), de la Agencia Europea de Medio Ambiente, la [aplicación Índice de Calidad del Aire, del MITERD](#), y muchas otras de administraciones autonómicas o locales.

3.2 GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

Por gestión entendemos el conjunto de estrategias, políticas y acciones orientadas a mejorar la calidad del aire para disminuir sus impactos sobre la salud y el medio ambiente. Incluye tanto los procesos cíclicos de mejora como acciones preventivas o políticas transversales. En este apartado se incorporará, además, información sobre herramientas y recursos que pueden servir de ayuda en estas tareas.

Las actuaciones de gestión pueden provenir de una obligación legal – como cuando se producen superaciones de los valores límites – o pueden tener carácter voluntario. Desde el punto de vista técnico no existen diferencias, pero sí pueden aparecer en la forma o el procedimiento; en el primer caso, habrá que ceñirse exactamente al contenido de la normativa, mientras que, en el segundo, podemos entenderla como una guía o una orientación.

En la mayor parte de las ocasiones (sobre todo las que provengan de una obligación legal), el liderazgo de las actuaciones va a corresponder al gestor de la red de vigilancia. No obstante, la participación municipal debe ser proactiva siempre, consensuando todas las decisiones del proceso y responsabilizándose de forma directa del diseño, selección, priorización, implantación y seguimiento de las medidas que entren en el ámbito de sus competencias.

3.2.1. Actuaciones de mejora de la calidad del aire

Comprenden un proceso cíclico de mejora continua que se inicia con la fijación de objetivos (teniendo en cuenta la evaluación inicial), prosigue con la recopilación de información necesaria para hacer un diagnóstico y la creación de grupos de trabajo que usan esta información para diseñar, seleccionar y jerarquizar las medidas que propondrán.

A continuación, se abre un periodo de revisión, consulta e implicación de la ciudadanía que finaliza con la revisión y aprobación del plan. Comienza entonces el proceso de implantación, priorización espacial y temporal, recogida de datos, seguimiento, evaluación continua y análisis de los resultados obtenidos que nos permitirán introducir mejoras en el plan o iniciar un nuevo proceso de planificación.

Lo fundamental en este proceso es contar siempre con información actualizada y que obre en poder de todas las administraciones que participen, un liderazgo activo que coordine a los diferentes actores, siendo consciente de sus competencias, medios, tiempos de actuación, conocimientos, etc. y un método de trabajo estructurado, coherente y que aspire a la excelencia.

Toma de decisiones y fijación de objetivos

El primer paso es conocer nuestro punto de partida (los niveles de contaminación que tenemos) y fijar objetivos. Estos objetivos se establecen por cada contaminante y deben incluir, al menos, el nivel objetivo, cómo se va a medir (diario, anual, etc.) y el periodo para alcanzarlo. Los límites serán, como máximo, los marcados en la normativa, pero pueden ser más exigentes e incluso diferentes para distintas zonas del municipio. Incluso si el gestor de la red marca un objetivo, el municipio puede endurecerlo.

La mejor manera de fijar los objetivos es ser conscientes de la situación de partida y de los medios y dificultades a los que nos enfrentamos; por ello, es posible revisar el objetivo una vez que acabemos el apartado siguiente y tengamos más elementos de juicio.

Para la fijación de objetivos, lo razonable es comenzar por los niveles de referencia de la normativa y, cuando sea posible, inspirarse en las [recomendaciones de la OMS](#). También nos pueden servir de guía los [planes o estrategias aprobados en otras zonas](#).

Otro aspecto que debe resaltarse es que la decisión de actuar y el alcance deben partir de la máxima autoridad local. Sin su compromiso firme y continuado es imposible llevar a cabo con éxito un proyecto de estas características. Aunque pueden delegar algunas tareas a niveles técnicos, deben liderar el proceso, proporcionando apoyo, coordinación, medios y validación a las diferentes decisiones que se vayan tomando.

Recopilación de información y elaboración de un diagnóstico

Lo primero que debe hacer un ayuntamiento es realizar (o contratar la realización) de un diagnóstico de situación. El diagnóstico nos permitirá conocer la magnitud del problema, la importancia relativa de los factores que influyen y el grado de eficacia de las actuaciones realizadas. Una parte de la información – los niveles de contaminación – ya la conocemos, pero no es suficiente: cuantos más datos podamos conseguir, más fácil será saber qué tenemos y/o podemos hacer.

Un buen diagnóstico requiere conocer la contribución relativa de cada fuente y sector y su evolución temporal (a lo largo del día y del año), datos sobre movilidad y actividad económica, condiciones meteorológicas, medidas ya tomadas y su eficacia, número y características (demografía, socioeconomía, estado de salud, etc.) de la población y la topografía y el urbanismo de nuestro entorno.

Generalmente, la realización de un diagnóstico certero requiere de un equipo altamente cualificado y multidisciplinar, especialista en el

Dónde obtener información para el diagnóstico:

- [Aemet \(condiciones meteorológicas\)](#)
- [Inventarios de emisiones del MITERD](#)
- [Distribución de la población en INE](#)
- [Atlas de vulnerabilidad urbana](#)
- [Atlas Nacional de Mortalidad en España \(ANDEES\)](#)
- [Otros datos \(turismo, economía, etc.\)](#)
- [PRTR España \(fuentes industriales y difusas\)](#)
- [Ministerio de Transporte. Herramienta HEAT para cálculo emisiones transporte](#)

análisis y la modelización de la calidad del aire. No obstante, es posible realizar un estudio preliminar que identifique fuentes, población y condiciones meteorológicas, como información mínima necesaria para diseñar actuaciones de mejora de la calidad del aire.

Los datos pueden obtenerse a partir de estudios específicos, pero la información básica la podemos obtener de registros municipales y de bases de datos abiertas. Es importante recalcar que tan importante como la información agregada es su distribución espacial; para este análisis se requiere el uso de sistemas de información geográfica (SIG).

Trabajo técnico de formulación y jerarquización de medidas

Gracias al diagnóstico sabremos los sectores que debemos controlar, el tipo de medidas que implantar, las zonas donde son más necesarias y la forma de optimizar sus impactos. En esta etapa, nos ayudamos con la lista de medidas eficaces por sector y tipo de problema presente en el Capítulo 4 y en documentos como la [Guía para la elaboración de Planes de Mejora de la Calidad del Aire del CSIC](#) seleccionando las que mejor den respuesta a nuestro problema y adaptándolas a nuestra realidad específica.

Para conseguir este resultado se deben crear grupos de trabajo técnicos en los que participe personal de varias administraciones para una mejor coordinación. Del ámbito municipal, teniendo en cuenta las competencias de la Ley de Bases de Régimen Local, deberían estar representados, entre otros, los ámbitos de medio ambiente (posible coordinación), salud pública, movilidad, urbanismo, limpieza, espacios verdes, seguridad, servicios sociales, vivienda, turismo, comercio, hacienda, deportes y participación ciudadana.

El resultado final debe ser un listado de medidas, priorizadas espacial y temporalmente, donde se describa qué se va a hacer, quién es

el responsable, cuál es el calendario de implantación, de qué presupuesto se dispone y cuál es su origen y, sobre todo, un indicador y un objetivo que nos permita realizar el seguimiento. Si la medida se realiza por imperativo legal, habrá que cuantificar el resultado esperado en términos de mejora de la calidad del aire.

Ejemplos de medidas:

- Si se tiene un problema de tráfico causado por la obsolescencia del parque móvil, la medida será fomentar el transporte activo o sustituir vehículos por otros menos contaminantes.
- Si es un problema concreto en una zona, podremos introducir restricciones de tráfico motorizado, potenciar el transporte público o introducir barreras vegetales en puntos concretos.
- Si el problema es de calefacción, no nos vale poner medidas de restricción de tráfico motorizado o de control de obras. Habrá que ocuparse de seleccionar medidas del sector residencial (calderas).
- Si el problema lo causan granjas, habrá que ver si tenemos competencias para su control o dirigirnos a las autoridades ambientales o agrarias. También podremos contactar con las industrias y buscar medidas voluntarias como poner barreras, etc.

Revisión, participación ciudadana y aprobación del plan

El siguiente paso es redactar un documento con la información relevante del diagnóstico y de las medidas (en caso de dudas sobre qué

es relevante, consulta el anexo VIII de la [Directiva 2024/2881](#)) y compartirlo con todas las personas y organismos implicados. La toma de decisiones sobre qué medidas finalmente se eligen y cómo se priorizan debe tener el mayor consenso posible. No debe ser un plan del equipo de gobierno, sino del municipio.

Consejos para que la participación ciudadana sea útil:

- Debe actuarse de forma proactiva, dirigiéndose a asociaciones y también directamente a la ciudadanía. Por mucho conocimiento que tenga el personal técnico, nadie conoce mejor su ciudad que quienes viven en ella.
- El éxito del plan pasa por que todas las personas estén implicadas y lo sientan como propio.
- La información que se presente a las personas no técnicas debe ser fácilmente comprensible para garantizar la utilidad de la consulta.
- Se debe evitar confundir la participación con la validación de un documento: es preferible presentar varias opciones para elegir entre ellas que un listado al que decir SÍ/NO.

Una vez tomadas las decisiones, es necesario redactar un documento que recoja toda la información y aprobarlo oficialmente. Incluso si se trata de un plan liderado por otra administración, la parte que aplica en el municipio debería ser objeto de una aprobación específica, aunque sea simbólica. Una vez aprobado, se debe difundir por todos los medios posibles: toda la población debería conocer lo que se va a hacer, lo que le afecta y qué puede hacer para ayudar.

Por último, se debe señalar que la implicación ciudadana no concluye con la aprobación. En todo momento, se deben mantener los canales de participación abiertos e, incluso, realizar actuaciones proactivas para recabar opiniones sobre la forma en que se está implantando, los resultados que se obtienen, posibles mejoras que se puedan aportar, etc.

Implantación, priorización y seguimiento (recogida de datos)

La implementación es el proceso estructurado que permite transformar las estrategias y objetivos en acciones concretas y ejecutarlas. El primer paso consiste en desglosar los objetivos en tareas específicas y luego priorizarlas según criterios como urgencia/importancia, impacto o dependencia de otras actividades. Una vez identificadas las tareas críticas, se debe diseñar un calendario de ejecución con fechas de inicio y finalización, evitando solapamientos o cuellos de botella.

Ejemplos de priorización de medidas:

- Urgencia/Importancia: las dirigidas a las principales fuentes y a los contaminantes críticos.
- Impacto: las que se espere que produzcan las mayores reducciones de contaminación.
- Dependencia: las que son condición previa para realizar otras medidas.
- Otros: como las que producen beneficios complementarios, tienen mejor aceptación social, son más viables desde el punto de vista técnico, requieren menor tiempo de implantación, etc.

Una herramienta muy útil son los diagramas de Gantt o metodologías como Scrum o Kanban, que permiten ajustes en tiempo real.

Lo ideal es aprovechar para estas tareas los mismos grupos de trabajo técnicos anteriores. Hay que establecer reuniones periódicas y documentar exhaustivamente el proceso pues asegura la trazabilidad y ayuda en futuros ajustes y evaluaciones. Un aspecto crítico es revisar los indicadores que se propusieron y ver si son factibles, relevantes y coherentes. También debemos asegurarnos de establecer la fuente de información para su cálculo, los responsables de la extracción de datos, la periodicidad de recogida de datos, etc.

La forma de implantar las medidas crea muchas oportunidades para mejorar la salud, en función de la forma, la priorización espacial y temporal, la adaptación a las especiales condiciones del medio y la población, etc. Hay que buscar sinergias con otras medidas y optimizar los impactos para la población. Una buena forma de hacerlo es buscar inspiración en buenas prácticas que hayan efectuado otras ciudades, como por ejemplo, en las [Guías de Buenas Prácticas de C40 Cities](#).

Una vez implantadas las medidas, llega el momento de recopilar la información. Se recomienda el uso de herramientas digitales para el monitoreo en tiempo real (sensores, *Big Data*, IA, etc.) y el uso de modelos predictivos para estimar los efectos de las medidas en aquellos datos no fácilmente medibles. Estos modelos pueden mejorarse con el uso de técnicas de *machine learning* para la identificación de patrones.

El segundo aspecto es difundir la información y hacerla entendible; los tableros de control interactivos permiten visualizar tendencias y evaluar el desempeño del plan de manera dinámica. La difusión de noticias, valores de indicadores y alguna forma de interpretación sencilla del desempeño (por ejemplo, por código de colores) permite identificar de forma clara qué es lo que está funcionando y qué es lo que aún tiene que mejorar.

Evaluación de la eficacia y formulación de estrategias

El seguimiento y la evaluación de un plan son procesos fundamentales para garantizar su efectividad y sentar las bases de futuros ciclos de planificación. Un seguimiento y análisis adecuados permite monitorear la implementación en tiempo real, detectar posibles desvíos y realizar ajustes.

Recopilar la información es un proceso técnico, evaluarla trasciende este ámbito. Evaluar no debe limitarse a comparar datos con objetivos

Tipos y ejemplos de indicadores necesarios para evaluar:

- Datos sobre **ejecución** de las medidas, es decir, verificar si se están cumpliendo según lo previsto. Por ejemplo, kilómetros de carril bici construidos.
- Datos sobre **resultado** de las medidas, es decir, verificar su impacto sobre el objetivo parcial. Por ejemplo, número de desplazamientos diarios en bicicleta.
- Datos sobre el **efecto final** causado. Por ejemplo, reducción de los niveles de contaminación, e incluso en caso de ser posible, impactos sobre la salud de la población (bien con datos reales o calculando a través de herramientas desarrolladas como [HEAT](#) para transporte activo).

y constatar si cumplimos o no, sino que debe ir más allá; herramientas como tableros de control, cuadros de mando integrales y SIG pueden facilitar la recopilación, visualización y análisis de datos, identificando

posibles causas y razones de los resultados. Además, metodologías como la evaluación de impacto, el análisis costo-beneficio y la consulta a actores clave pueden aportar información valiosa para valorar la efectividad y eficacia del plan y de sus medidas.

Así, el resultado de la evaluación nos permitirá decidir si se deben introducir modificaciones al plan (y cuáles) o si procede comenzar una nueva fase de planificación. La toma de decisiones basada en la evaluación debe ser un proceso dinámico que permita optimizar recursos, maximizar los impactos y consolidar una estrategia más efectiva y sostenible a largo plazo.

3.2.2. Políticas transversales: la planificación del municipio

Además de la planificación dirigida específicamente a la mejora de la calidad del aire, se pueden realizar muchas otras actuaciones que ayuden en este objetivo de forma indirecta. Hemos separado estas medidas porque la mayoría tienen sus propios ciclos de planificación y es más complejo incluirlas en las estrategias ya comentadas.

De hecho, prácticamente todas las políticas municipales podrían (y deberían) incluir entre sus metas la mejora de la calidad del aire, pero en el caso de la ordenación urbanística se dan especiales circunstancias que la convierten en la opción más atractiva: tiene un alcance universal y transversal, es competencia exclusiva del municipio e influye de manera determinante en la forma de vivir, de moverse y de relacionarse de la población.

El planeamiento urbanístico define la forma en que se va a desarrollar el territorio, trazando las redes de comunicaciones, identificando las parcelas que se pueden ocupar, sus usos (vivienda, parques, zonas industriales, comerciales, servicios públicos, etc.) y la densidad de construcciones que pueden albergar. Por ello, se pueden introducir

medidas útiles para reducir la contaminación al tomar decisiones relacionadas con las siguientes esferas:

- Planeamiento estratégico urbano (distribución relativa de los diferentes usos).
- Diseño de las infraestructuras de movilidad.
- Diseño de las zonas verdes.
- Diseño urbano, es decir, la organización y equipamiento de calles y espacios abiertos.

Planeamiento estratégico

El planeamiento estratégico traza las líneas básicas de crecimiento de los núcleos urbanos, el esqueleto sobre el que se construirá finalmente la ciudad. A este nivel, las principales recomendaciones son densificar (incrementar la intensidad de ocupación) y diversificar la ciudad (ampliar el número de usos). De esta manera, se reducen las necesidades de desplazamiento y se fomentan modos de transporte activos, con lo que se reduce la emisión de contaminantes. Además, un mayor aprovechamiento del suelo permite ocupar menos espacios, preservando zonas naturales que pueden absorber la contaminación.

Otro aspecto interesante es el que se refiere a la posición relativa de los usos. Aunque se aboga por un uso mixto, en ocasiones es preferible la segregación, por ejemplo, en el caso de industrias altamente contaminantes o en infraestructuras de tráfico motorizado muy saturadas. En este sentido, se recomienda situarlas lo más alejadas posibles de las zonas habitadas, en la dirección de los vientos dominantes e interponiendo zonas verdes que puedan absorber la contaminación. Finalmente, también hay medidas relacionadas con la forma en que se diseñan las parcelas.

Ejemplos de medidas relacionadas con la forma/diseño de las parcelas:

- Construcción ortogonal, que permita el diseño de [supermanzanas](#).
- Policentrismo, con núcleos autosuficientes que reducen la congestión.
- [Desarrollo orientado al transporte \(TOD\)](#): cuando las áreas de alta densidad se disponen alrededor de los nodos de comunicación colectivos.

Infraestructuras de movilidad

Aunque forma parte del planeamiento estratégico, la planificación de las grandes infraestructuras de movilidad merece un apartado propio por su gran potencial de inclusión de medidas que ayuden a reducir los niveles de contaminación. El trazado y dimensionamiento de las redes son claves tanto para localizar los puntos de mayores emisiones como para propiciar el uso de alternativas menos contaminantes al vehículo propio.

El mayor potencial reside en el trazado de las redes de carreteras y calles. Medidas que disuadan del uso del vehículo propio, como la reducción de carriles y de plazas de aparcamientos pueden contribuir a reducir la contaminación de forma óptima. Por otro lado, hay que evitar trazados con excesivos giros, pendientes y cuellos de botella que provoquen frenazos o aceleraciones constantes y faciliten los atascos.

Ejemplos de medidas relacionadas con el diseño de infraestructuras:

- Redes de movilidad activa (carriles-bici) seguras, continuas y conectando áreas de interés.
- Previsión de carriles específicos para movilidad colectiva y para tráfico pesado.
- Diseño jerarquizado de redes y traslado de vías de mayor tráfico fuera de los núcleos urbanos.

Diseño y ubicación de zonas verdes

Se trata de estrategias claves para reducir la contaminación del aire. Las áreas vegetadas actúan como filtros naturales, capturando partículas, absorbiendo gases contaminantes y generando oxígeno. Sin embargo, no basta con añadir espacios verdes: su ubicación y diseño deben responder a la distribución de la población y las principales fuentes de contaminación.

Además de su papel en la reducción de la contaminación, las zonas verdes aportan múltiples beneficios adicionales. Protegen frente a fenómenos meteorológicos adversos reduciendo el efecto isla de calor y el riesgo de inundaciones. Para maximizar su efecto, la planificación debe considerar su conexión con otras infraestructuras y usos.

El objetivo último debe ser integrar la naturaleza en la ciudad. Las Soluciones Basadas en la Naturaleza son enfoques de gestión que utilizan procesos naturales para abordar problemas como la contaminación de manera sostenible. La presencia de árboles en calles y plazas embellece, genera sombra y reduce ruidos, por lo que, indirectamente,

Ejemplos de medidas relacionadas con el diseño de zonas verdes:

- En ciudades con mucho tráfico motorizado, es preferible la creación de corredores verdes.
- En ciudades con espacios industriales, es recomendable el desarrollo de parques urbanos alrededor.
- En zonas sin espacios libres, la mejor alternativa son los jardines verticales.
- Creación de techos verdes para mejorar el aislamiento térmico de los edificios.

promueve el transporte activo, ya que espacios habitables, cómodos y seguros animan a pasear y desplazarse a pie.

Para maximizar los beneficios de la vegetación es fundamental seleccionar especies adecuadas, priorizando las más eficientes en la captura de contaminación y mejor adaptadas al clima. Se deben evitar aquellas con alta capacidad alergénica que pueden agravar problemas respiratorios en la población. También es recomendable priorizar especies que no liberen grandes cantidades de polen o frutos que puedan generar residuos pulverulentos.

Diseño urbano

El diseño urbano a pequeña escala y un correcto mantenimiento pueden desempeñar un papel relevante en la reducción de la contaminación del aire, tanto de manera directa, disminuyendo sus emisiones, como indirecta, promoviendo formas de movilidad más sostenibles.



La Herramienta para evaluar los determinantes de salud en el espacio público de la Diputación de Barcelona permite a los técnicos municipales y a los redactores de proyectos evaluar los determinantes de salud en las propuestas de mejora o creación de nuevos espacios públicos (para que se pueda leer de forma independiente)

Así, la selección de materiales de baja fricción para el pavimento (y su mantenimiento adecuado evitando baches) reduce las emisiones de partículas. Un diseño que facilite la limpieza de calles y aceras, junto con el uso de agua para humedecer las superficies, disminuye la acumulación de polvo y su posible resuspensión.

Ejemplos de medidas relacionadas con el diseño urbano:

- Ampliación y mejora de aceras, iluminación y señalización clara.
- Peatonalización de calles estratégicas y disposición de cruces seguros.
- Mejora de la accesibilidad universal (personas con movilidad reducida, carritos de bebés, etc.)
- Fomento de la habitabilidad y del confort urbano, sombra, bancos, zonas de juego, etc.

El diseño y señalización de calles también suman: estrategias como la reducción de la anchura de carriles y la incorporación de elementos como pasos de peatones elevados o trazados en S ayudan a calmar el tráfico motorizado, disminuyendo aceleraciones y frenazos bruscos que aumentan las emisiones. La priorización semafórica para transporte público reduce los tiempos de espera y mejora su eficiencia, incentivando su uso frente al vehículo privado.

3.2.3. Herramientas y recursos para optimizar la acción local

Recopilamos en este último apartado herramientas y recursos que los ayuntamientos pueden emplear para reducir los costes e inconvenientes que pueden resultar de la realización de estos trabajos, con el fin de que sean conscientes de que están al alcance de todos. Hemos dividido los recursos en tres apartados, los relacionados con la información, con el conocimiento y las herramientas tecnológicas, y con los recursos financieros.

Información clave: cómo obtener, organizar y usar los datos

Toda política eficaz debe fundamentarse en datos actualizados y fiables. Sin ellos no pueden identificarse los problemas, priorizar las soluciones ni medir la efectividad de las medidas adoptadas. Muchos datos provienen de fuentes propias, pero también debemos aprovechar los proporcionados por otras administraciones gracias a sus políticas de datos abiertos. Debemos ser capaces de integrar información estadística y referencias espaciales, siendo la interoperabilidad una característica esencial de nuestras fuentes.

Una gestión adecuada de los datos requiere protección, trazabilidad y buen gobierno. Resulta esencial establecer protocolos de acceso y seguridad, garantizar la trazabilidad para conocer su origen y cambios

y asegurar su disponibilidad en los plazos apropiados. La inclusión de metadatos estructurados mejora su localización y reutilización, mientras que la validación y el control de versiones aseguran su calidad y fiabilidad.

Algunos enlaces de interés para obtener e integrar datos:

- [Portal de Datos Abiertos del Gobierno de España](#)
- [Infraestructura de Datos Espaciales de España \(IDEE\)](#)
- [Información estadística \(INE\)](#)
- [Interoperabilidad de datos \(Gobierno Vasco\)](#)
- [Información satelital europea \(Copernicus\)](#)

Otro aspecto que considerar se refiere a las herramientas necesarias para el tratamiento, almacenamiento y divulgación de datos. El uso de software libre, como PostgreSQL para bases de datos o CKAN para portales de datos abiertos, reduce costos y mejora la accesibilidad. La automatización con Python o R optimiza el procesamiento de información. Herramientas como Power BI o Metabase permiten crear paneles interactivos para visualizar e interpretarlos. Finalmente, el uso de plataformas gratuitas como Google Drive o Nextcloud ofrecen soluciones accesibles de almacenamiento.

El análisis espacial es imprescindible, ya que la distribución de las fuentes de emisión, la proximidad a la población en riesgo y la influencia de la topografía y la meteorología son factores clave. Para ello, es esencial disponer de datos con referencias espaciales o adaptarlos mediante georreferenciación. Los SIG son la herramienta adecuada para gestionar y analizar estos datos en función de su ubicación.

Ventajas específicas de los SIG:

- **Análisis espacial preciso:** permite identificar zonas con mayores niveles de contaminación y relacionarlas con fuentes emisoras (vehículos a motor, industria, etc.)
- **Modelización de dispersión de contaminantes:** ayudan a prever cómo se distribuirán las emisiones según la topografía, la meteorología y el uso del suelo.
- **Optimización de medidas correctivas:** favorecen la planificación de zonas de bajas emisiones, ubicación de estaciones de medición y diseño de estrategias de movilidad sostenible.
- **Ubicación óptima de estaciones de medición:** analizan la influencia de factores geográficos para situar sensores en puntos estratégicos.
- **Estimación de exposición poblacional:** relacionan datos de contaminación con densidad y características de población para evaluar impactos en la salud pública.

Capacitación: redes y recursos de conocimiento

Para llevar a cabo los trabajos descritos en este capítulo, resultan necesarios una serie de conocimientos, aptitudes y herramientas que varían en función del nivel de complejidad y profundidad que se desee alcanzar. Estos conocimientos se pueden clasificar así en tres niveles: básicos (imprescindibles), avanzados y de excelencia.

El **nivel básico** incluiría el conocimiento de la normativa, de los procesos de adquisición e interpretación de datos de calidad del aire y de los sectores relacionados de competencia municipal (tráfico, residencial y administraciones, control de obras, planeamiento urbanístico y gestión de zonas verdes). También requiere habilidades de integración de datos básicos sobre población (densidad, socioeconómicos y demografía), diseño de indicadores, recopilación y tratamiento de información (Excel, PostGreSQL, SIG), liderazgo y gestión de equipos.

Los **conocimientos avanzados** implican gestionar datos sobre ubicaciones y características de las fuentes de emisión, meteorología, sensores IoT (internet de las cosas) y habilidades de acceso a plataformas de datos abiertos, software de gestión de proyectos, integración y manejo de datos (R, Python, etc.) y herramientas de divulgación de información. Por último, los **conocimientos de excelencia** se refieren a conocimientos y habilidades relacionados con modelización, simulación, datos de salud, acceso a mejor evidencia científica, monitoreo en tiempo real, desarrollo de aplicaciones móviles para la ciudadanía, plataformas Big Data e innovaciones tecnológicas novedosas.

Es probable, pues, que se deba proporcionar formación en temas como la monitorización de la calidad del aire, el uso de herramientas para la recopilación y el análisis de datos, la interpretación de los resultados en el contexto de la normativa legal y el uso de sistemas SIG. Más adelante pueden plantearse otros cursos sobre modelización, evaluación de medidas de mitigación y análisis de impacto en salud. En caso de querer profundizar más, se pasaría al uso de plataformas, Big Data y tecnologías emergentes para la monitorización en tiempo real.

Esta formación puede requerir una colaboración estrecha con universidades, centros de investigación y sociedades científicas. Otra opción es considerar la subcontratación de servicios a esos organismos o

a empresas especializadas en la gestión de la calidad del aire, la modelización ambiental y el desarrollo de soluciones tecnológicas.

Entre las webs de referencia de calidad del aire se encuentran las siguientes:

- [Organización Mundial de la Salud \(OMS\)](#)
- [Comisión Europea \(Calidad del aire en las ciudades\)](#)
- [Agencia Europea del Medio Ambiente \(EEA\)](#)
- [European Air Quality Portal](#)
- [Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico](#)
- [Ministerio de Sanidad](#)

En cuanto a posibles recursos de ayuda, resulta básico el asesoramiento de las diputaciones provinciales, que deben prestar apoyo técnico a los municipios. Igualmente, las consejerías de medio ambiente autonómicas asesoran y proporcionan información a través de plataformas de datos abiertos (datos de calidad del aire, modelos predictivos, etc.) También es posible buscar la colaboración de universidades u organismos de investigación.

Algunos ejemplos son la [Red Española de Ciudades Saludables](#), [Red de Ciudades por la Bicicleta](#), [Red de Ciudades que Caminan](#), [Red Española de Ciudades por el Clima](#), [Red de Entidades Locales para la Agenda 2030](#) o [Red Española de Ciudades Inteligentes \(RECI\)](#).

Las redes supramunicipales ofrecen también una valiosa oportunidad para compartir experiencias, recursos y soluciones en la gestión de la calidad del aire. Estas redes permiten a los municipios colaborar, intercambiar buenas prácticas y acceder a proyectos conjuntos que mejoren la calidad del aire a escala regional y nacional.

Soluciones tecnológicas y financiación

En este apartado se van a incluir otros elementos que pueden ayudar a las autoridades locales, desde el punto de vista tecnológico y económico. Respecto al primer ámbito, cabe decir que las tecnologías emergentes han dejado de ser una novedad inalcanzable para convertirse en herramientas prácticas y accesibles.

Muchas soluciones que antes requerían grandes inversiones están ahora disponibles a bajo coste o incluso de manera gratuita, facilitando su uso. Se presentan aquí algunos ejemplos sin ánimo de ser exhaustivos, ya que el desarrollo tecnológico es constante. Por ello, es recomendable mantener la atención ante nuevas herramientas que puedan agilizar procesos, mejorar los resultados y optimizar recursos municipales.

En general, estas herramientas son más accesibles gracias a la IA, que nos puede resultar útil para programar aplicaciones en cualquier lenguaje, diseñar APIs (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que descarguen y almacenen automáticamente información, automatizar procesos de depuración y análisis de datos, detectar preventivamente patrones con procesos de *data mining* y *machine learning* para optimizar procesos (tráfico motorizado, riego de zonas verdes, mantenimiento de vías o elementos urbanos, etc.) y otras tareas.

Finalmente, ya que estos trabajos acaban incrementando los costes, otra línea de asistencia está relacionada con la obtención de recursos o ayudas económicas. Como la calidad del aire es una preocupación creciente y una prioridad en la agenda europea, existen numerosos programas destinados a financiar acciones locales.

Ejemplos de mejoras tecnológicas aplicables a bajo coste:

Las nuevas redes de comunicación conocidas como **IoT** permiten recopilar información en tiempo real a un coste muy bajo y almacenarlo y procesarlo de forma automatizada. La tecnología *blockchain* permite registrar los datos de forma segura, asegurando que no se alteren con el tiempo.

La construcción de **gemelos digitales** combina la representación virtual de la ciudad con información real para realizar simulaciones sobre la introducción de cambios. Por ejemplo, si se pretende restringir el tráfico motorizado, un gemelo digital puede simular los cambios en la contaminación antes de implementar la medida. Así, se pueden comparar diferentes alternativas y elegir la más efectiva.

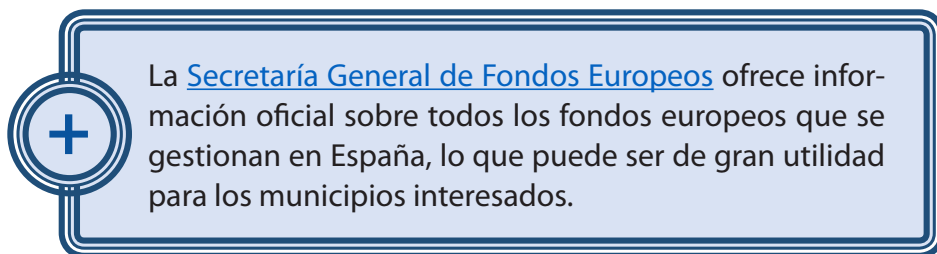
El lanzamiento de **aplicaciones móviles**, para difundir información (y, por ejemplo, enviar alertas o recomendar rutas alternativas), para servir como asistentes virtuales con *chatbots* y que la población resuelva dudas concretas o para fomentar la participación ciudadana, haciendo encuestas, pudiendo reportar situaciones irregulares como suciedad, emisiones u obras ilegales, quemas de residuos, etc.

Convocatorias de proyectos relacionados con la calidad del aire:

- **Fondos Next Generation EU.** Instrumento temporal de recuperación diseñado para reparar los daños económicos y sociales inmediatos causados por la pandemia de coronavirus.
- **Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER).** Mecanismo financiero para corregir desequilibrios entre regiones, financiando proyectos que fomenten el desarrollo económico y social. Son fondos gestionados conjuntamente con los países miembros.
- **Programas Interreg.** Iniciativa que promueve la cooperación territorial entre regiones de diferentes países de la UE. A través de proyectos conjuntos, se busca abordar desafíos comunes, como la contaminación del aire, compartiendo conocimientos y recursos para implementar soluciones efectivas.
- **Fondos Estructurales y de Inversión Europeos (ESIF).** Tienen como objetivo apoyar la cohesión económica y territorial, y alcanzar los objetivos de la Estrategia Europa 2020.
- **Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas (EFSE).** Iniciativa que busca movilizar inversiones privadas en proyectos estratégicos en toda Europa: incluye los relacionados con la mejora de la calidad del aire y la sostenibilidad ambiental en áreas urbanas.
- **Acciones Urbanas Innovadoras (UIA).** Iniciativa que proporciona recursos a las áreas urbanas para probar soluciones nuevas y no probadas que aborden los desafíos urbanos.

Al ser la mejora de la calidad del aire un objetivo transversal, se puede acceder a financiación usando múltiples enfoques. Puede enmarcarse dentro de programas de sostenibilidad y lucha contra el cambio climático, iniciativas de salud pública para reducir el impacto de la contaminación, proyectos de eficiencia energética y movilidad sostenible o incluso estrategias de innovación y digitalización mediante el uso de nuevas tecnologías.

Para acceder a estos fondos y programas, es fundamental que los ayuntamientos identifiquen las convocatorias abiertas y preparen proyectos alineados con los objetivos de cada iniciativa.



Además de las iniciativas europeas, existen programas análogos nacionales y autonómicos. Para acceder a estas oportunidades, pueden ayudarse de la asesoría de la [FEMP](#) u otras organizaciones similares o consultar el Boletín Oficial del Estado y de cada comunidad autónoma, ya que en ellos se anuncian convocatorias específicas. Además, contar con el apoyo de empresas consultoras especializadas en la gestión de fondos y subvenciones puede facilitar la identificación y tramitación de estas ayudas.

4 Fichas metodológicas

**MARÍA BARBERÁ RIERA, ELENA BOLDO PASCUA, SUSANA FERNÁNDEZ NOCELO, CONSUELO GARRASTAZU
DÍAZ, LUIS MOYA RUANO, RAFAEL MUÑOZ MARTÍN, ÁNGEL PÉREZ GARRIDO, ESTHER VALDIVIA LOZAGA**



El objetivo de estas fichas es presentar de forma sencilla y didáctica las actuaciones que pueden llevarse a cabo para reducir la contaminación y proteger la salud, con un enfoque centrado en la acción local. Aunque existen muchas recopilaciones de medidas similares, el valor añadido de estas fichas es que se organizan por sectores o ámbitos de origen de la contaminación: de esta forma, facilitan la toma de decisiones una vez que se identifiquen cuáles son los focos prioritarios de intervención.

Las fichas contienen la siguiente información:

- 1. Una descripción de la evidencia científica de los principales efectos en salud asociados a la contaminación proveniente de estos sectores, indicando los principales contaminantes a los que se atribuyen los efectos, los grupos poblacionales principalmente afectados y referencias para obtener más información.*
- 2. Los datos sobre la relevancia de las aportaciones asociadas a este sector y de los mecanismos de generación de contaminantes, para así entender mejor las estrategias que pueden usarse para su abatimiento.*
- 3. Las principales estrategias para reducir la contaminación, especificando, además, qué organismos pueden participar, la viabilidad y eficacia de este tipo de estrategias, otros posibles beneficios adicionales de su aplicación y, cuando es posible, ejemplos reales de buenas prácticas.*
- 4. Un listado de medidas principales asociadas a estas estrategias (el color del fondo de las tablas indica la asociación entre estrategias y medidas), incorporando posibles indicadores para realizar el seguimiento de su implantación y ayudas para su selección a través de información que nos permite comparar la utilidad de las mismas en relación a cuatro factores:*

- La capacidad de implementación de las mismas, en el sentido de si dependen de la financiación, colaboración o ejecución de otras administraciones o, por el contrario, son iniciativas que solo dependen del liderazgo local.*
 - El coste relativo de su implementación.*
 - La velocidad con la que las medidas pueden implantarse y dar resultados.*
 - La aceptabilidad social de las medidas, en el sentido de si es previsible que puedan generar mayor o menor rechazo por parte de la población.*
- 5. Las referencias bibliográficas usadas en la elaboración de la ficha.*

Para cada medida presentada se ofrece una evaluación de cada uno de estos cuatro factores con una puntuación comprendida entre 1 y 3, siendo 1: bajo, 2: medio y 3: alto.

Como excepciones a la estructura anterior, la ficha de origen natural no incorpora estrategias para reducir la contaminación ni las medidas derivadas, puesto que no es posible actuar sobre estas causas. De manera adicional, se aporta una ficha con medidas globales e indirectas frente a la contaminación del aire (independientemente de su origen) que debe usarse en combinación con cualquiera de las otras fichas.



4.1 Origen: TRÁFICO

En las áreas urbanas, el tráfico rodado es la principal fuente de contaminación atmosférica y representa el factor más determinante en la exposición de la población a contaminantes que afectan negativamente a la salud. Por tanto, reducir la contaminación del aire relacionada con el tráfico es crucial, ya que contribuye significativamente a niveles perjudiciales especialmente de $PM_{2.5}$ y NO_2 , así como O_3 , los cuales están vinculados a una mayor vulnerabilidad a infecciones respiratorias graves, enfermedades pulmonares crónicas y muertes prematuras.

4.1.1 Principales impactos sobre la salud

Descripción y cuantificación de los impactos	Contaminantes atmosféricos	Población afectada	Referencia bibliográfica	Nivel Evidencia ¹
Mortalidad por todas las causas Mortalidad circulatoria y cardiopatía isquémica Mortalidad respiratoria Mortalidad por cáncer de pulmón	NO_2 $PM_{2.5}$	Adulta	1-3	4/5
Desarrollo de asma e infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores	NO_2	Infancia y Adolescencia	1, 3, 4	4/5
Cáncer de mama	NO_2	Mujeres	5	4
Efectos respiratorios Desarrollo de asma Mortalidad respiratoria	O_3	Infancia & Adulta	6 6	4
		Adulta	7	
Mortalidad por todas las causas Mortalidad cardiorrespiratoria	PM_{10} , O_3 , $PM_{2.5}$, NO_2 y calor	Adulta	8-10	4
Bajo peso al nacer Parto prematuro	$PM_{2.5}$	Bebés	11,12	4

¹ Categorías: nivel 1 (noticias, sentido común), nivel 2 (opiniones de expertos), nivel 3 (estudios epidemiológicos, serie de casos, estudios de cohortes, casos y controles, otros), nivel 4 (metanálisis, revisión sistemática), nivel 5 (guías, documentos de consenso).

4.1.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados

La principal fuente de emisiones a la atmósfera en zonas urbanas corresponde al uso de **vehículos** impulsados por combustibles fósiles. Las emisiones de combustión comprenden predominantemente NO_x y material particulado, fundamentalmente $PM_{2.5}$. En época estival y bajo condiciones de alta radiación solar, los niveles de O_3 tienden a incrementarse debido a la mayor formación fotoquímica a partir de sus precursores. Adicionalmente, el rozamiento de las ruedas contra la superficie del suelo genera material PM tanto por desgaste como por

resuspensión del polvo acumulado. Asimismo, el contacto entre piezas metálicas del vehículo puede liberar partículas finas que contienen metales como antimonio, cobre, bario y zinc, entre otros.

La intensidad y peligrosidad de las emisiones depende de múltiples factores: la densidad del tráfico; del **tipo de motor/combustible** (los motores diésel emiten más NO₂ y PM que los de gasolina, y mucho más que los híbridos/eléctricos); la **antigüedad de la flota** (porque los avances tecnológicos han reducido progresivamente la tasa de emisiones por km recorrido); la potencia del motor; la **velocidad/forma de conducción**, la masa y volumen del vehículo, así como su estado de mantenimiento.

En el caso de la fricción, la generación de emisiones está condicionada por factores como la naturaleza de los materiales usados, de la limpieza y mantenimiento de las vías, del peso del vehículo y de la forma de conducción. Las vías sin pavimentar y los vehículos pesados son los puntos críticos para el control de estas emisiones.

Finalmente, el impacto sobre la población dependerá de la capacidad de dispersión de los contaminantes, tanto por factores meteorológicos (como la velocidad y dirección del viento, la estabilidad atmosférica o la presencia de precipitaciones), como por el **diseño de los entornos urbanos** (más abiertos y con más zonas verdes ayudan a reducir la contaminación). Otra estrategia para proteger la salud es reducir la exposición, bien con barreras físicas o distanciando los puntos de emisiones de las zonas habitadas (especialmente, por población vulnerable), así como recomendando la adopción de medidas de precaución tales como evitar ejercicio intenso en exteriores y exposición elevada por parte especialmente de población más sensible.

4.1.3 Principales estrategias para reducir la contaminación

Descripción	Introducir restricciones de tráfico a todos o a los vehículos más contaminantes, por ejemplo, a través del establecimiento de Zonas de Bajas Emisiones	Organismos implicados	Administración local (servicios de movilidad)
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción del ruido y mejora en la habitabilidad urbana Descenso de la accidentabilidad Recuperación de espacio público para peatones y movilidad activa // ciudades más atractivas	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	ZBE Madrid Central ZBE Rondas Barcelona ZBE Valladolid PMUS Pontevedra	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Fomento del uso de vehículos propulsados por combustibles menos contaminantes y/o de prácticas que reduzcan la contaminación generada por los vehículos (mantenimiento, reducción velocidad, etc.)	Organismos implicados	Diputaciones provinciales Administración local MINTUR. MITERD
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción del ruido Reducción de la accidentabilidad (velocidad)	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Programa de incentivos movilidad eléctrica (MOVES III) Guía movilidad eléctrica FEMP	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Fomento del transporte público y de los sistemas de compartición de vehículos (reducción del número de vehículos). Reducción de desplazamientos no necesarios.	Organismos implicados	Particulares / C Vecinales Consortio de transportes Administración local
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción del ruido y del estrés Mejora de la equidad en la accesibilidad Fomento de la cohesión social en movilidad compartida	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Carpooling Sant Joan Proyecto Transporte Público a Demanda La Zarza	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Fomento de la movilidad activa (a pie, bicicleta, etc.)	Organismos implicados	Administración local Diputaciones provinciales Particulares / C Vecinales
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico Mejora de la salud gracias a la actividad física Reducción del ruido y mejora de la sociabilidad	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Subvenciones a entidades locales para el fomento del uso de la bicicleta, inversión en infraestructuras	Viabilidad técnica-económica	

Nota: MINTUR – Ministerio de Industria, Comercio y Turismo // MITERD – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

4.1.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire y disminuir su efecto en salud (derivadas de las estrategias anteriores)

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Implantación de Zonas de Bajas Emisiones y Zonas de Bajas Emisiones de Especial Protección	N.º de población protegida // % de reducción de vehículos motorizados // % de reducción de emisiones				
Establecimiento de barrios con poco tráfico, macromanizanas y barrios sin automóviles	Población que vive en dichos barrios // % de superficie urbana en esos barrios				
Renaturalización de entornos escolares (limitación del tráfico o rediseño de zonas)	N.º de colegios // N.º de calles renaturalizadas				
Servicios de Estacionamiento Regulado (SER) – disuasión del uso de vehículo propio	% de superficie regulada // % de reducción de vehículos motorizados				
Ampliación de aparcamientos de disuasión e intercambiadores	N.º de aparcamientos y N.º de plazas creadas				
Tarificación por uso de vías de comunicación (kilometraje recorrido)	Km de vías tarifadas // % de reducción de tráfico alcanzado				
Planes para la eliminación de vehículos más antiguos y su desguace ordenado 1: bajo // 2: medio // 3: alto	Edad media del parque móvil // N.º de vehículos > 10 años sustituidos				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA	TIEMPO	COSTE	CONFLICTIVIDAD
Plan de incentivos a la instalación de puntos de recarga y a la innovación en electromovilidad, recarga e hidrógeno verde	N.º de puntos instalados				
Impulso al vehículo eléctrico, incentivos para la adquisición de vehículos cero emisiones o “ecológicos” o bonificaciones en las cuotas IVTM	N.º de vehículos comprados o sustituidos // % de vehículos eléctricos en el parque móvil				
Contratación pública de vehículos limpios y eficientes (bajas emisiones)	N.º de vehículos comprados o sustituidos // % de flota renovada				
Implantación de sistemas de alquiler de patinetes o bicicletas eléctricas	N.º de vehículos usados o disponibles // N.º de usuarios activos				
Gestión de la distribución urbana de mercancías en la ciudad (planificación ordenada de las rutas de reparto)	N.º de rutas optimizadas // % de servicios de mercancías gestionados				
Reordenación viaria en las inmediaciones de zonas de gran volumen de tráfico como zonas de actividad logística o parques industriales	N.º de puntos negros eliminados// tiempo medio de acceso a la zona				
Mejora del mantenimiento y limpieza de las vías para evitar resuspensión de partículas	Km de vías mantenidos // frecuencia de limpieza				
Sustitución del material de construcción de las vías por otro que produzca menos partículas por rozamiento	Km de vías con material de baja de producción de PM // % de reducción de PM asociada al cambio de pavimento				
Limitación de la velocidad de circulación	Km de vías con velocidad limitada // % de reducción de emisiones y accidentes				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA	TIEMPO	COSTE	CONFLICTIVIDAD
Coordinación de todos los servicios de transporte urbano y metropolitano. Creación de puntos de intermodalidad	N.º de puntos de intercambio de modos transporte // % de aumento de usuarios multi-modales	 2	 3	 2	 2
Desarrollo del sistema de transporte público por carretera (establecimiento de servicios directos que reduzcan los tiempos de recorrido, incremento de oferta de movilidad en núcleos secundarios)	N.º de líneas y de paradas // Población potencialmente atendida	 2/3	 3	 2	 1
Nuevas tecnologías aplicadas al transporte público, como seguimiento geolocalizado en tiempo real de los vehículos de transporte público y e-ticketing	N.º y % de personas que se descarguen apps // % de pagos por e-ticketing	 1	 3	 2	 2
Mejora de la accesibilidad universal del transporte público. Adaptación de estaciones, paradas y flotas de vehículos	% de estaciones, paradas y flotas de vehículos adaptadas // Índice de satisfacción de personas con discapacidad	 1	 2	 3	 1
Bonificación del transporte público (universal o para colectivos priorizados)	% de población y usuaria bonificada // % de incremento en el uso de transporte público	 1	 3	 2	 1
Mejora del servicio del transporte público (ampliación de la zona servicio, frecuencia de paso, reducción tiempo acceso, etc.)	% de población con servicio // Densidad y velocidad de vehículos // Frecuencia media en hora punta // Tiempo medio de acceso al transporte	 1	 3	 2	 1
Carriles prioritarios para transporte público, vehículos ECO o coches compartidos	Km de vías prioritarias // % de reducción de tiempos de viaje en transporte público	 1	 3	 2	 2
Creación de una plataforma de coche compartido	Plataformas implantadas // N.º de personas usuarias	 2	 2	 3	 2
Fomento del teletrabajo y de las actuaciones administrativas en línea, reducción de movilidad obligatoria en las ciudades	N.º de personas usuarias de los trámites en línea	 2/3	 1	 1	 1

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Implantación de un sistema de bicicletas compartidas (eléctricas o no)	N.º de puntos, bicicletas, usuarios // N.º de viajes realizados				
Fomento de la movilidad sostenible en bicicleta para trabajo y estudio (planes de transporte sostenibles)	N.º de entidades y personas usuarias con/en planes				
Promoción del uso de la bicicleta para rutas turísticas	N.º de campañas realizadas // N.º de turistas usuarios				
Fomento de la red de itinerarios ciclistas y vías verdes ciclo-peatonales de ámbito metropolitano y fomento de la red de itinerarios ciclistas de carácter estructurante a nivel urbano, municipal e intermunicipal	N.º de itinerarios ciclistas implantados / km de itinerarios implantados // N.º de usuarios día				
Aumento de la seguridad de las zonas peatonales y vías ciclistas separándolas del tráfico o poniendo limitaciones de velocidad, de forma que se fomente el uso de las opciones menos contaminantes	Actuaciones realizadas // Cuota modal de transporte				
Puntos de aparcamientos para bicicletas	N.º de puntos // % de ocupación media				
Ampliación de zonas peatonales en la ciudad: peatonalizaciones permanentes y peatonalizaciones provisionales	N.º de km y vías peatonalizadas // Nivel de satisfacción vecinal				
Subvenciones para la compra de bicicletas	€ gastados // N.º de bicicletas adquiridas con subvención				

REFERENCIAS

1. Boogaard H, Patton AP, Atkinson RW, Brook JR, Chang HH, Crouse DL et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and selected health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2022; 164:107262.
doi: 10.1016/j.envint.2022.107262
2. Boogaard H, Samoli E, Patton AP, Atkinson RW, Brook JR, Chang HH et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and non-accidental mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2023; 176:107916.
doi: 10.1016/j.envint.2023.107916
3. Health Effects Institute. Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. [actualizado 4 de mayo de 2023; citado 18 de agosto de 2025] Disponible en: <https://www.healtheffects.org/publication/systematic-review-and-meta-analysis-selected-health-effects-long-term-exposure-traffic>
4. Bettiol A, Gelain E, Milanesio E, Asta F, Rusconi F. The first 1000 days of life: traffic-related air pollution and development of wheezing and asthma in childhood. A systematic review of birth cohort studies. *Environ Health.* 2021; 20(1):46.
doi: 10.1186/s12940-021-00728-9
5. Praud D, Deygas F, Amadou A, Bouilly M, Turati F, Bravi F et al. Traffic-Related Air Pollution and Breast Cancer Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Cancers (Basel).* 2023; 15(3):927.
doi: 10.3390/cancers15030927
6. Zhang JJ, Wei Y, Fang Z. Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide. *Front Immunol.* 2019 Oct 31; 10:2518
doi: 10.3389/fimmu.2019.02518. eCollection 2019
7. Deng Y, Wang J, Sun L, Wang Y, Chen J, Zhao Z et al. Effects of Ambient O3 on Respiratory Mortality, Especially the Combined Effects of PM2.5 and O3. *Toxics.* 2023; 11(11):892.
PMID: 37999544
8. Stafoggia M, Michelozzi P, Schneider A, Armstrong B, Scortichini M, Rai M et al. Joint effect of heat and air pollution on mortality in 620 cities of 36 countries. *Environ Int.* 2023; 181:108258.
doi:1016/j.envint.2023.108258
9. Hu X, Han W, Wang Y, Aunan K, Pan X, Huang J et al. Does air pollution modify temperature-related mortality? A systematic review and meta-analysis. *Environ Res.* 2022; 210:112898.
doi: 10.1016/j.envres.2022.112898
10. Rai M, Stafoggia M, de'Donato F, Scortichini M, Zafeiratou S, Vazquez Fernandez L et al. Heat-related cardiorespiratory mortality: Effect modification by air pollution across 482 cities from 24 countries. *Environment International.* 2023; 174:107825.
doi: 10.1016/j.envint.2023.107825
11. Parasin N, Amnuaylojaroen T, Saokaew S. Prenatal PM2.5 Exposure and Its Association with Low Birth Weight: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Toxics.* 2024; 12(7):446.
doi: 10.3390/toxics12070446.
12. Wang L, Guo P, Tong H, Wang A, Chang Y, Guo X et al. Traffic-related metrics and adverse birth outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Environ Res.* 2020; 188:109752.
doi: 10.1016/j.envres.2020.109752.



4.2 Origen: INDUSTRIAL

“Las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) surgen del principio de precaución y de prevención, aplicados a la gestión ambiental de actividades industriales. Estas técnicas incluyen tanto la tecnología empleada como la manera en que se diseñan, construyen, mantienen, operan y desmantelan las instalaciones industriales. Las MTDs abarcan aspectos como la eficiencia energética, la reducción de emisiones de contaminantes, la minimización de residuos y el uso de materiales menos peligrosos. En la estrategia europea, son esenciales para cumplir con las directrices establecidas por la Directiva de Emisiones Industriales (IED), cuyo objetivo es garantizar un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto y de la salud humana. Este enfoque integrado fomenta una mejora continua y el uso de las técnicas más eficaces y económicamente asumibles para reducir el impacto ambiental.” (<https://prtr-es.es/documentos/otros>).

4.2.1 Principales impactos sobre la salud

Descripción y cuantificación de los impactos	Contaminantes atmosféricos	Población afectada	Referencia bibliográfica	Nivel Evidencia ¹
Bajo peso al nacimiento y parto prematuro	PM _{2.5} , hidrocarburos aromáticos policíclicos, benceno, BTEX ² , cadmio	Embarazadas y recién nacidos	1	4
Enfermedades del sistema cardiorrespiratorio	NO ₂ y en general todo tipo de emisión industrial	Adulta	2, 20	3
Diversos tipos de cáncer (pulmón, laringe, digestivo, mama, linfoma no-Hodgkin, tumores óseos y neuroblastoma)	Emisiones industriales ³	Adulta Mujeres Infancia	3,7- 20	3
Incidencia y mortalidad por leucemia	Emisiones industriales ³	Residentes viviendo cerca de industria química	4	4
		Adolescentes	5-6	3
Mortalidad	NO _x	Adulta	20-21	5

¹ Categorías: nivel 1 (noticias, sentido común), nivel 2 (opiniones de expertos), nivel 3 (estudios epidemiológicos, serie de casos, estudios de cohortes, casos y controles, otros), nivel 4 (metanálisis, revisión sistemática), nivel 5 (guías, documentos de consenso).

² BTEX: se refiere a los compuestos orgánicos volátiles siguientes: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos.

³ Emisiones de industrias (contaminantes indeterminados) considerando la distancia como indicador de exposición. Se observan excesos de riesgo de morir por algunos cánceres en municipios con complejos industriales cercanos.

4.2.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados

Las emisiones industriales tienen múltiples orígenes y características. A continuación, se resumen las principales fuentes, aunque para

un análisis más detallado por sectores recomendamos consultar los documentos [BREF](#).

Los procesos de **combustión** utilizados en calderas, hornos y generadores producen SO_2 , NO_x , CO y PM cuyo efecto en salud depende de su etiología y composición. Además, muchas industrias generan emisiones fugitivas, es decir, escapes no controlados de gases desde válvulas, tuberías, depósitos o procesos de fabricación, emitiendo sobre todo compuestos orgánicos volátiles (COVs) y partículas de diferente naturaleza.

La **manipulación** y el procesamiento de **materias primas** también puede ser una fuente importante de emisiones, especialmente en sectores como la metalurgia, el cemento o la minería, donde la trituración, molienda o fundición pueden liberar grandes cantidades de partículas de diferente tamaño y composición. En otros sectores, los procesos químicos pueden generar subproductos contaminantes, como emisiones de hidrocarburos o sustancias tóxicas derivadas de reacciones químicas industriales.

En conjunto, la magnitud y el impacto de la contaminación dependen de múltiples factores: la tecnología utilizada, el tipo de combustible, la presencia de sistemas de filtrado y control, y las prácticas de gestión ambiental adoptadas por cada industria. La mejora de la **eficiencia energética** permite reducir el consumo de combustibles, mientras que la economía circular contribuye a disminuir tanto el uso de materias primas como la generación de residuos. De cara al futuro, la transición hacia energías más limpias, la electrificación de procesos, el uso de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, así como la aplicación de normativas ambientales más estrictas, representan vías clave para reducir el impacto de las emisiones industriales.

El impacto sobre la población dependerá de la capacidad de dispersión de los contaminantes, tanto por factores meteorológicos, como por el diseño de los entornos (más abiertos y con más zonas verdes ayudan a reducir la contaminación). Otra estrategia para proteger la salud es reducir la exposición, bien con barreras físicas o distanciando los puntos de emisiones de las zonas habitadas (especialmente, por población vulnerable). Asimismo, el estudio de vientos predominantes puede orientar a la ubicación de focos de emisión alejados de zonas más pobladas o con población más sensible a la contaminación.

En definitiva, controlar las emisiones industriales no depende únicamente de la **tecnología**, sino también de una adecuada planificación territorial, políticas públicas eficaces y la responsabilidad de las empresas en la protección de la salud y el medio ambiente. La cooperación entre administraciones, sector productivo y ciudadanía resulta esencial para garantizar un modelo de desarrollo sostenible.

4.2.3 Principales estrategias para reducir la contaminación

Descripción	Control de emisiones: implantación de medidas correctoras basadas en la eliminación física o química de los contaminantes expulsados por los focos de emisión (de acuerdo con las Mejores Técnicas Disponibles (MTD))	Organismos implicados	Unión Europea Medio Ambiente Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción de emisiones difusas, contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero, mejora de la calidad del aire, protección de la salud, beneficios económicos	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Documentos MTDs	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Eficiencia energética: implantación de sistemas de mejora de la eficiencia energética como forma de reducir el consumo de combustibles y las emisiones que se derivarían de su uso	Organismos implicados	Unión Europea Medio Ambiente Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico y mejora del rendimiento de las instalaciones Mejora de la competitividad	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Fichas técnicas de medidas estandarizadas de eficiencia energética	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Economía circular: gestión adecuada de productos, materias primas, residuos en todo su ciclo de vida y conforme a criterios de economía circular	Organismos implicados	Medio Ambiente Administración local Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico y menor presión ambiental Reducción del consumo de materias primas y en la generación de residuos Impulso a nuevos modelos de negocio (reutilización, reparación, reciclaje)	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Estrategia Local de Economía Circular - FEMP	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Monitorización y gobernanza: incremento del control, monitorización y seguimiento de los impactos ambientales, de forma voluntaria u obligatoria (por las administraciones competentes)	Organismos implicados	Admon Estado y Autonomías Administración local Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Mejora de la gestión ambiental de la empresa, incluyendo otros aspectos ambientales (agua, ruido, etc.) Incremento de la transparencia y de la confianza ciudadana Mejora en el acceso a la información y en la toma de decisiones Mayor capacidad para detectar incumplimientos y prevenir daños	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Proyecto ENHANCE – Interreg (transparencia desempeño ambiental empresas y organizaciones. EMAS)	Viabilidad técnica-económica	

4.2.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA	TIEMPO	COSTE	CONFLICTIVIDAD
Instalación de sistemas de abatimiento de partículas en focos de emisiones canalizadas de partículas. Las principales tecnologías existentes son: • Filtros (de mangas, electrofiltros, filtros HEPA, etc.) • Lavador húmedo • Ciclón	N.º de sistemas de abatimiento instalados // % de reducción PM				
Instalación de sistemas de abatimiento de compuestos gaseosos. Las principales tecnologías existentes son: • Lavador húmedo • Adsorción • Condensación • Separación por membranas • Oxidación térmica / catalítica	N.º de sistemas de abatimiento instalados // % de reducción de gases (NOx, COVs, etc)				
Ayuda económica para la adopción de MTD en empresas	N.º de ayudas concedidas // € aportados				
Ayudas para la realización de inversiones que incrementen la eficiencia energética en los procesos e instalaciones, permitan un aprovechamiento óptimo del calor residual y faciliten el aprovechamiento de las energías renovables en las industrias	N.º de ayudas concedidas // Fondos destinados a ayudas // Certificados de Ahorro Energético				
Proyectos de mejora de eficiencia energética como: • Aprovechamientos mediante instalación/optimización de intercambiadores de calor • Instalación/optimización de aislamientos	N.º de actuaciones // Mw de energía anual aprovechada				
Proyectos de mejora de eficiencia energética como: • Renovación/instalación de equipos de combustión por otros más eficientes • Renovación/instalación de equipos móviles de alta eficiencia	N.º de actuaciones // Mw de energía anual aprovechada // tCO ₂ evitadas				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Gestión integral de materias primas y residuos conforme a economía circular	Toneladas recicladas/año // % de reducción de residuos al año y tipo (peligrosos, inorgánicos, etc.)				
Evitar, donde sea posible, almacenamientos de graneles sólidos a la intemperie	N.º de almacenes a la intemperie sustituidos por naves cerradas				
Fomento del uso de materias primas y productos químicos menos tóxicos y más sostenibles. Ejemplos: • Uso de materiales reciclados atóxicos: reducir la necesidad de extracción y procesamiento de materias primas nuevas • Productos químicos: sustituir sustancias peligrosas por alternativas menos dañinas	N.º de actuaciones de sensibilización				
Programas de detección de emisiones fugitivas con objeto de identificar y reparar los puntos de fuga en los que se pueden producir emisiones de contaminantes no intencionadas	N.º de campañas o puntos de medición// % de fugas reparadas				
Procedimientos de determinación de las emisiones de COVNM procedentes de las instalaciones industriales, realizar un control de los aparatos de medida y supervisar el correcto funcionamiento del tratamiento y remisión de la información	N.º de datos validados de emisiones de COVNM de instalaciones industriales				
Revisión de Autorizaciones Ambientales Integradas de instalaciones industriales o de Autorizaciones de emisiones a la atmósfera de instalaciones industriales en zonas con problemas de calidad de aire, con objeto de reducir emisiones de contaminantes específicos	N.º de autorizaciones revisadas// % reducción emisiones exigida				
Incremento de la frecuencia de inspecciones o monitorizaciones ambientales de las empresas más contaminantes	N.º de inspecciones o mediciones efectuadas				
Sistema de información de emisiones (mejora E-PRTR ²²) y seguimiento por parte de las administraciones públicas	N.º de instalaciones incluidas				

REFERENCIAS

1. Veber T, Dahal U, Lang K, Orru K, Orru H. Industrial Air Pollution Leads to Adverse Birth Outcomes: A Systematized Review of Different Exposure Metrics and Health Effects in Newborns. *Public Health Rev.* 2022; 43:1604775.
doi: 10.3389/phrs.2022.1604775
2. Bustaffa E, Mangia C, Cori L, Bianchi F, Cervino M, Minichilli F. Cardiorespiratory diseases in an industrialized area: a retrospective population-based cohort study. *BMC Public Health.* 2023; 23(1):2031.
doi:10.1186/s12889-023-16925-9
3. Fernández-Navarro P, García-Pérez J, Ramis R, Boldo E, López-Abente G. Industrial pollution and cancer in Spain: An important public health issue. *Environ Res.* 2017; 159:555-63.
doi:10.1016/j.envres.2017.08.049
4. Boonhat H, Lin RT. Association between leukemia incidence and mortality and residential petrochemical exposure: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2020; 145:106090.
doi: 10.1016/j.envint.2020.106090
5. García-Pérez J, Gómez-Barroso D, Tamayo-Uría I, Ramis R. Methodological approaches to the study of cancer risk in the vicinity of pollution sources: the experience of a population-based case-control study of childhood cancer. *Int J Health Geogr.* 2019; 18(1):12.
doi: 10.1186/s12942-019-0176-x
6. García-Pérez J, López-Abente G, Gómez-Barroso D, Morales-Piga A, Romaguera EP, Tamayo I, Fernández-Navarro P, Ramis R. Childhood leukemia and residential proximity to industrial and urban sites. *Environ Res.* 2015; 140:542-53.
doi: 10.1016/j.envres.2015.05.014
7. Santos-Sánchez V, Córdoba-Doña JA, García-Pérez J, Escolar-Pujolar A, Pozzi L, Ramis R. Cancer Mortality and Deprivation in the Proximity of Polluting Industrial Facilities in an Industrial Region of Spain. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17(6):1860.
doi: 10.3390/ijerph17061860
8. García-Pérez J, Pollán M, Boldo E, Pérez-Gómez B, Aragonés N, Lope V et al. Mortality due to lung, laryngeal and bladder cancer in towns lying in the vicinity of combustion installations. *Sci Total Environ.* 2009; 407(8):2593-602.
doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.12.062
9. Fernández-Navarro P, García-Pérez J, Ramis R, Boldo E, López-Abente G. Proximity to mining industry and cancer mortality. *Sci Total Environ.* 2012; 435-436:66-73.
doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.07.019
10. Santos-Sanchez V, Córdoba-Doña JA, García-Pérez J, Escolar-Pujolar A, Pozzi L, Ramis R. Industrial pollution and mortality from digestive cancers at the small area level in a Spanish industrialized province. *Geospat Health.* 2020; 15(1).
doi: 10.4081/gh.2020.802
11. García-Pérez J, López-Cima MF, Pérez-Gómez B, Aragonés N, Pollán M, Vidal E et al. Mortality due to tumours of the digestive system in towns lying in the vicinity of metal production and processing installations. *Sci Total Environ.* 2010; 408(16):3102-12.
doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.051
12. García-Pérez J, Fernández de Larrea-Baz N, Lope V, Molina AJ, O'Callaghan-Gordo C, Alonso MH et al. Residential proximity to industrial pollution sources and colorectal cancer risk: A multicase-control study (MCC-Spain). *Environ Int.* 2020; 144:106055.
doi: 10.1016/j.envint.2020.106055
13. García-Pérez J, Lope V, Fernández de Larrea-Baz N, Molina AJ, Tardón A, Alguacil J et al. Risk of gastric cancer in the environs of industrial facilities in the MCC-Spain study. *Environ Pollut.* 2021; 278:116854.
doi: 10.1016/j.envpol.2021.116854
14. García-Pérez J, López-Cima MF, Pollán M, Pérez-Gómez B, Aragonés N, Fernández-Navarro P et al. Risk of dying of cancer in the vicinity of multiple pollutant sources associated with the metal industry. *Environ Int.* 2012; 40:116-27.
doi: 10.1016/j.envint.2011.07.002
15. García-Pérez J, López-Abente G, Castelló A, González-Sánchez M, Fernández-Navarro P. Cancer mortality in towns in the vicinity of installations for the production of cement, lime, plaster, and magnesium oxide. *Chemosphere.* 2015; 128:103-10.
doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.01.020
16. Ramis R, Vidal E, García-Pérez J, Lope V, Aragonés N, Pérez-Gómez B, Pollán M et al. Study of non-Hodgkin's lymphoma mortality associated with industrial pollution in Spain, using Poisson models. *BMC Public Health.* 2009; 9:26.
doi:10.1186/1471-2458-9-26
17. García-Pérez J, Lope V, Pérez-Gómez B, Molina AJ, Tardón A, Díaz Santos MA et al. Risk of breast cancer and residential proximity to industrial installations: New findings from a multicase-control study (MCC-Spain). *Environ Pollut.* 2018; 237:559-68.
doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.065

18. García-Pérez J, Morales-Piga A, Gómez-Barroso D, Tamayo-Uria I, Pardo Romaguera E, López-Abente G et al. Risk of bone tumors in children and residential proximity to industrial and urban areas: New findings from a case-control study. *Sci Total Environ.* 2017; 579:1333-42.

doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.131
19. García-Pérez J, Morales-Piga A, Gómez-Barroso D, Tamayo-Uria I, Pardo Romaguera E, Fernández-Navarro P et al. Risk of neuroblastoma and residential proximity to industrial and urban sites: A case-control study. *Environ Int.* 2016; 92-93:269-75.

doi: 10.1016/j.envint.2016.04.023
20. Bauleo L, Bucci S, Antonucci C, Sozzi R, Davoli M, Forastiere F et al. Long-term exposure to air pollutants from multiple sources and mortality in an industrial area: a cohort study. *Occup Environ Med.* 2019; 76(1):48-57.

doi: 10.1136/oemed-2018-105059
21. Rahman MM, Alam K, Velayutham E. Is industrial pollution detrimental to public health? Evidence from the world's most industrialised countries. *BMC Public Health.* 2021; 21(1):1175.

doi: 10.1186/s12889-021-11217-6
22. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. [citado 18 de agosto de 2025] Disponible en: <https://prtr-es.es/>



4.3 Origen: OBRAS Y DEMOLICIONES

La realización de obras de construcción en la vía pública presenta una especial incidencia en la emisión a la atmósfera de contaminantes que pueden afectar a la salud de las personas expuestas. Entre estos contaminantes destacan principalmente las partículas en suspensión presentes en el polvo generado en abundancia en las obras y demoliciones, junto con los contaminantes propios de las emisiones del tráfico rodado, ya que en este tipo de obras suele darse de forma paralela un aumento de la circulación de los vehículos y camiones que trabajan para dichas obras. A esta característica, en ocasiones, también hay que sumar la naturaleza de la partícula, ya que, en caso de amianto, la sílice o la madera, puede representar un factor de riesgo añadido. (<https://madridsalud.es/recomendaciones-para-disminuir-la-emision-de-contaminantes-ambientales-en-obras-y-demoliciones/>).

4.3.1 Principales impactos sobre la salud

Descripción y cuantificación de los impactos	Contaminantes atmosféricos	Población afectada	Referencia bibliográfica	Nivel Evidencia ¹
Irritación vías respiratorias superiores	PM ₁₀ , NO ₂ , PM _{2.5}	Residentes en la zona y trabajadores de la construcción	1, 2, 3, 4, 5	2
Toxicidad de elementos metálicos	Al, K, Mg, Si y S ²	Residentes en la zona y trabajadores de la construcción	6	2

¹ Categorías: nivel 1 (noticias, sentido común), nivel 2 (opiniones de expertos), nivel 3 (estudios epidemiológicos, serie de casos, estudios de cohortes, casos y controles, otros), nivel 4 (metaanálisis, revisión sistemática), nivel 5 (guías, documentos de consenso).

² Aluminio, potasio, magnesio, silicio y azufre.

4.3.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados

Las principales fuentes de emisiones son el uso de vehículos pesados propulsados por derivados de combustibles fósiles y las operaciones con **materiales terrosos o pulverulentos**. Se generan pues, gases de escape del motor que aportan NO_x, COV y PM. Las operaciones con materiales (movimiento de tierras, excavación, demolición, gestión de áridos, etc.) generan y resuspenden PM; además, los contactos entre piezas metálicas (cortes, embutidos, etc.) o materiales con amianto pueden aportar partículas finas con metales pesados y posibilidad de liberación de fibras.

La intensidad y peligrosidad de las emisiones depende de la intensidad de las operaciones (escala y duración de la obra), de los materiales usados y presentes en el suelo, del tipo de motor/combustible (los motores diésel emiten más NO₂ y PM que los de gasolina), la potencia de los motores, la masa y volumen del vehículo y su estado de mante-

nimiento. En el caso del movimiento y arrastre de tierras, las emisiones dependen, sobre todo, de la limpieza y mantenimiento de las vías, de la **compactación del suelo** y del peso del vehículo. También la ubicación y gestión de acopios de materiales (graneles) tiene gran importancia en el nivel de emisiones que se producen.

Finalmente, el impacto sobre la población dependerá de la capacidad de dispersión de los contaminantes, influida tanto por factores meteorológicos, como por el diseño del entorno (más abiertos y con más zonas verdes ayudan a reducir la contaminación). Otra estrategia para proteger la salud es reducir la exposición, bien con barreras físicas o distanciando los puntos de emisiones de las zonas habitadas (especialmente, por población vulnerable) cuando sea posible elegir el emplazamiento de la obra, siendo importante adoptar medidas de control ambiental por parte de los promotores de la obra.

4.3.3 Principales estrategias para reducir la contaminación

Descripción	Implantación de sistemas de planificación, vigilancia y control de las actividades, por parte de los promotores de la obra con seguimiento y control de las administraciones competentes	Organismos implicados	Medio Ambiente Administración local Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Mejor control del resto de impactos: ruido, aguas, suelo, etc.	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Elaboración de planes de gestión ambiental antes del inicio de la obra, incluyendo mapas de zonas sensibles, rutas de acceso, almacenamiento de materiales y horarios de trabajo Gestión de quejas y comunicación con la población afectada Autocontrol ambiental por las empresas y capacitación del personal	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Implantación de medidas correctoras que minimicen la generación de partículas en las operaciones de excavación, movimiento de tierras, demolición, etc.	Organismos implicados	Empresas Promotoras
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción de la erosión y de la pérdida de suelo	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas		Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Implantación de medidas correctoras que minimicen la resuspensión o el arrastre por el viento de partículas ya generadas en las operaciones antes descritas	Organismos implicados	Medio Ambiente Administración local Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción de la erosión y de la pérdida de suelo	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Mantenimiento de vías y equipos: limpieza regular de caminos y vehículos, mantenimiento de maquinaria, pavimentación o estabilización de vías para reducir resuspensión o arrastre. Planificación y programación de trabajos: evitar realizar trabajos con altas emisiones de polvo en días de viento	Viabilidad técnica-económica	

4.3.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Impulso de la aprobación y aplicación de normativas de gestión ambiental en obras de construcción y demolición (control y seguimiento adecuado de estas actividades para reducir las emisiones de partículas)	Norma aprobada: SÍ / NO				
Implantación de planes de autocontrol ambiental en obras y demoliciones por parte de las empresas	N.º (%) de obras con planes autocontrol implementados				
Supervisión o inspecciones periódicas por parte de las administraciones competentes a las obras autorizadas y búsqueda de obras no autorizadas	N.º de inspecciones // N.º de irregularidades o sanciones				
Paralización de obras en episodios de alerta o condiciones meteorológicas desfavorables	N.º de paralizaciones realizadas // N.º de alertas emitidas				
Gestión de las quejas vecinales y de trabajadores	Encuestas de percepción sobre polvo, ruido o molestias // N.º de quejas recibidas				
Implantación de lavarruedas en obras de cierto volumen	% de obras con lavarruedas				
Cubrición con lona u otro sistema apropiado de la caja de los vehículos que transporten material pulverulento	% de vehículos cubiertos				
Conformidad de las inspecciones técnicas de los vehículos que tomen parte de las actuaciones	N.º (%) de vehículos conformes				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
La maquinaria de obra deberá estar en condiciones de reglaje y mantenimiento adecuado para minimizar las emisiones de los gases de escape de los motores	N.º (%) de maquinaria conforme				
Limitación donde sea posible, de operaciones susceptibles de producir cantidades significativas de polvo y partículas cuando existan condiciones atmosféricas desfavorables (por ejemplo, fuerte viento cuando el suelo está seco), adoptándose medidas de control apropiadas como la humectación previa de los materiales a manipular, en caso de que sea necesario.	N.º (%) de obras donde se cumplen estas condiciones				
Ubicación de los montones de tierra, acopios de granulometría fina, restos de obra y escombros en lugares protegidos del azote del viento	N.º (%) de obras donde se cumplen estas condiciones				
Prohibición de las quemas incontroladas de material sobrante de las obras	N.º (%) de obras que cumplen esta condición				
Establecimiento de riegos periódicos en los viales y zonas de acopio temporal, así como en los trayectos de las zanjas cuando estas vayan a abrirse, para reducir el levantamiento de polvo y partículas	Frecuencia de riegos // m ² de superficie regada				
Uso de nebulizadores de agua para capturar partículas en movimientos de tierra o demoliciones	Volumen de agua usada // m ³ de agua usada // m ² de superficie tratada				
Las mezclas de material de construcción (por ejemplo, el cemento), se realizarán sobre superficies planas, de fácil acceso, atendiéndose a pautas como la dirección predominante del viento. Se habrá de evitar en todo momento que el material removido quede a merced del viento	N.º (%) de obras que cumplen estas condiciones				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Limitación de acceso a vehículos a áreas no pavimentadas para reducir la resuspensión de partículas	N.º (%) de obras que cumplen esta condición				
Consolidación de taludes y terraplenes, plantación de especies vegetales o cubrición con lonas o materiales plásticos	N.º (%) de obras que cumplen esta condición				
Implantación de barreras perimetrales	N.º de barreras instaladas // Superficie protegida				
Ordenanza municipal de limpieza viaria para eliminar las partículas depositadas	Norma aprobada: SÍ/NO				

REFERENCIAS

- Garrastazu Díaz C, Pazos Liaño M, Fisac Gozalo JM. Plan de Control Ambiental de las obras del Mahou-Calderón (2018-2020) en la ciudad de Madrid. Rev. Salud ambient. 2023; 23(1):21-9.
<https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1158>
- Méndez D, Boldo E, Rayón H, Garrastazu C. Plan de Autocontrol de la Calidad del Aire en obras de demolición en la ciudad de Madrid como medida de prevención del impacto en la salud. Revista Ciudad Sostenible, Resiliente e Innovadora. 2022; 47:77-81.
<https://madridsalud.es/wp-content/uploads/2023/03/CS47.pdf>
- Moorcroft S, Bull M, Fleming P, Marsh D, Stoaling M, Franklin W. IAQM Guidance on monitoring in the vicinity of demolition and construction sites. London: Institute of Air Quality Management: 2018.
<https://www.the-ies.org/sites/default/files/reports/Monitoring%20Construction%20Sites.pdf>
- Azarmi. F, Kumar P. Ambient exposure to coarse and fine particle emissions from building demolition. Atmos Environ. 2016; 137:62-79
doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.04.029>

- Azarmi F, Kumar P, Marsh D, Fuller G. Assessment of the long-term impacts of PM10 and PM2.5 particles from construction works on surrounding areas. Environ Sci Process Impacts. 2016; 18(2):208-21.
doi: <https://doi.org/10.1039/C5EM00549C>
- Brown A, Barrett JE, Robinson H, Potgieter-Vermaak S. Risk assessment of exposure to particulate output of a demolition site. Environ Geochem Health. 2015; 37:675-87.
doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9747-3>



4.4 Origen: GESTIÓN DE RESIDUOS

En este apartado se tratará de manera específica el depósito en vertederos e incineración de los residuos sólidos urbanos. La gestión de residuos puede generar contaminación atmosférica, incluyendo emisiones de gases y partículas que afectan al medio ambiente y la salud. En este contexto, el tratamiento térmico tiene como objetivo reducir de manera significativa el impacto ambiental que los residuos podrían ocasionar. No obstante, durante el funcionamiento de las instalaciones de incineración se producen emisiones potencialmente peligrosas para la salud, cuya presencia y magnitud dependen tanto del diseño como del modo de operación de la planta.

En todo caso, aplicar correctamente la jerarquía de residuos es la mejor estrategia para mejorar la calidad del aire. Reducir su generación desde el origen y evitar su incineración en la medida de lo posible limita las emisiones y previene la contaminación atmosférica.

4.4.1 Principales impactos sobre la salud

Descripción y cuantificación de los impactos	Contaminantes atmosféricos	Población afectada	Referencia bibliográfica	Nivel Evidencia ¹
Lesiones cutáneas	Dioxinas y furanos (2, 3, 7, 8 – TCDD) HAPs	Población residente en el entorno	3	5
Alteraciones inmunitarias y del sistema nervioso	Dioxinas y furanos (2, 3, 7, 8 – TCDD) HAPs	Población residente en el entorno	3	5
Cáncer Linfoma no <i>Hodgkin</i> Sarcoma tejido blando	Dioxinas y furanos (2, 3, 7, 8 – TCDD) HAPs	Población residente en el entorno	1 4 5 3 6 7	4 4 3 4 4 4
Anomalías congénitas	Dioxinas y furanos (2, 3, 7, 8 – TCDD) HAPs	Población residente en el entorno	1 4	5 4
Bajo peso al nacer	Dioxinas y furanos (2, 3, 7, 8 – TCDD) HAPs	Población residente en el entorno	1 4	5 4

¹ Categorías: nivel 1 (noticias, sentido común), nivel 2 (opiniones de expertos), nivel 3 (estudios epidemiológicos, serie de casos, estudios de cohortes, casos y controles, otros), nivel 4 (metanálisis, revisión sistemática), nivel 5 (guías, documentos de consenso).

4.4.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados

Una de las principales fuentes de contaminación atmosférica son las **emisiones fugitivas** y arrastres **en vertederos**, donde la descomposición de residuos orgánicos genera gases como CH₄, dióxido de carbono (CO₂), COV y otras sustancias tóxicas. Estas emisiones incluyen arrastres de partículas por el viento. Similares son las emisiones en instalaciones de gestión intermedia, como plantas de almacenamiento,

trituración y clasificación de residuos, ya que producen emisiones de polvo, la volatilización de sustancias peligrosas y la liberación de gases de descomposición, así como importantes problemas de ruido generado por el tránsito de camiones de retirada de residuos.

Las emisiones más preocupantes son las derivadas de la **incineración y/o el biocompostaje**, donde los hornos de incineración pueden liberar NO_x , dioxinas, furanos, hidrocarburos simples y aromáticos, con especial referencia a los HAPs y metales pesados, todo ello si no se implementan tecnologías de control adecuadas; el biocompostaje, por su parte, puede generar emisiones de NH_3 y otros gases resultantes de la degradación biológica.

La intensidad y peligrosidad de las emisiones depende del **volumen de residuos** a gestionar, de la composición de los mismos (son más peligrosos los orgánicos complejos y los metálicos), del tipo de tratamiento aplicado, especialmente de las condiciones de filtrado y abatimiento de los gases de escape y del mantenimiento y operación de las instalaciones.

Finalmente, el impacto sobre la población dependerá de la capacidad de dispersión de los contaminantes, tanto por factores meteorológicos, como por el diseño de los entornos (más abiertos y con más zonas verdes ayudan a reducir la contaminación). Otra estrategia para proteger la salud es reducir la exposición, bien con barreras físicas o distanciando los puntos de emisiones de las zonas habitadas (especialmente, por población vulnerable).

4.4.3 Principales estrategias para reducir la contaminación

Descripción	Medidas preventivas para la captura de emisiones procedentes de vertederos, tanto de la descomposición de materia orgánica como el arrastre de polvo	Organismos implicados	Medio Ambiente Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Control de olores Reducción de la peligrosidad (incendios o atmósferas explosivas) Eficiencia energética y aprovechamiento de recursos al combinar incineración con recuperación de energía	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Reforestación y sellado de vertederos	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Implantación de medidas que minimicen la emisión de contaminantes en instalaciones de incineración de residuos o como sistema auxiliar de aprovechamiento energético	Organismos implicados	Medio Ambiente Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Menor contribución al cambio climático	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	BREF incineración de residuos	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Implantación de medidas correctoras que minimicen la resuspensión o el arrastre por el viento de partículas en instalaciones de tratamiento y gestión de residuos	Organismos implicados	Medio Ambiente Empresas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción del depósito de partículas en suelos, vegetación y láminas de agua del entorno.	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Buenas Prácticas Instalaciones Gestión de Residuos	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Implantación de planes de monitorización, vigilancia y control del desempeño ambiental y de la exposición a la contaminación por parte de las autoridades competentes	Organismos implicados	Salud Medio Ambiente Administración local
Co-beneficios que pueden obtenerse	Mejora de la calidad del agua y del suelo Incremento de la seguridad alimentaria	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	MITERD-Recomendaciones ubicación y vigilancia vertederos.	Viabilidad técnica-económica	

4.4.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD
Instalación de sistemas de captura y tratamiento de metano y otros gases que puedan producirse durante la descomposición de la materia orgánica en los vertederos	N.º (%) de instalaciones de captura y tratamiento // Tipo y cantidad de gases tratados				
Implantación de sistemas de control de olores para reducir molestias en zonas habitadas cercanas y prevenir la emisión de COVs en vertederos.	N.º de planes de gestión de olores % de instalaciones con plan implementado; reducción estimada de COVs (mg/m³)				
Establecimiento de buenas prácticas como: • Compactación de residuos para reducir cantidad de aire presente y minimizar la descomposición y la producción de gases. • Especial atención en la manipulación y traslado de residuos, por personal entrenado	N.º de buenas prácticas adoptadas % de residuos compactados vs. total				
Protección de los materiales de la acción del viento (muros, pantallas cortaviento, recubrimientos, humectación...)	N.º de instalaciones con medidas de protección antiarrastre % de superficies protegidas / total de áreas expuestas; m² de áreas cubiertas o humectadas				
Técnicas para minimizar emisiones canalizadas a la atmósfera: • Adsorción (mercurio, COVs, sulfuro de hidrógeno, compuestos olorosos) • Biofiltración (amoníaco, sulfuro de hidrógeno, COVs, compuestos olorosos) • Condensación y condensación criogénica (COVs) • Ciclones, precipitación electrostática, filtros de mangas, filtros HEPA (partículas) • Oxidación térmica (COVs) • Depuración húmeda (partículas, COVs, compuestos ácidos gaseosos y compuestos gaseosos alcalinos)	N.º de instalaciones de gestión de residuos con Autorización Ambiental Integrada adaptada a Conclusiones MTDs Reducción estimada de COVs (%)				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Técnicas para minimizar emisiones difusas de compuestos orgánicos a la atmósfera: - Minimizar el número de fuentes potenciales de emisión difusa - Selección y uso de equipos de alta integridad. Mantenimiento adecuado y prevención de la corrosión - Contención, recogida y tratamiento de las emisiones difusas - Medición de las emisiones difusas (COVs)	N.º de instalaciones de gestión de residuos con Autorización Ambiental Integrada adaptada a Conclusiones MTDs				
Utilizar la posible combustión en antorcha solo por razones de seguridad o en condiciones de funcionamiento no rutinarias (ej. arranques o paradas). Optimizar su diseño y tener un control avanzado del proceso	Monitorización del gas enviado a antorcha				
Incineración controlada (Temperaturas superiores 850°C-1000°C)	Temperatura media de operación // % de tiempo operando dentro del rango 850-1000 °C				
Protección de los materiales de la acción del viento (muros, pantallas cortaviento, recubrimientos, humectación...)	N.º de instalaciones con medidas de protección antiarrastre				
Evitar, donde sea posible, almacenamientos de residuos en forma de graneles sólidos a la intemperie	N.º de almacenes a la intemperie sustituidos por naves cerradas.				
Reducción de la altura de los acopios de residuos	Altura máxima permitida				
Acondicionamiento de las vías de acceso y circulación interiores (compactación, riego...)	N.º de instalaciones acondicionadas // % de vías acondicionadas vs. total				
Limitación de velocidades de circulación y cubrimiento de los vehículos	N.º de instalaciones acondicionadas // velocidad promedio controlada				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA	TIEMPO	COSTE	CONFLICTIVIDAD
Revisión de Autorizaciones Ambientales Integradas de instalaciones de gestión de residuos o de Autorizaciones de emisiones a la atmósfera en zonas con problemas de calidad de aire, con objeto de reducir emisiones de contaminantes	N.º de autorizaciones revisadas				
Incremento frecuencia inspecciones o monitorizaciones ambientales de las empresas más contaminantes	N.º de inspecciones o mediciones efectuadas Nº de inspecciones/año // % de instalaciones inspeccionadas				
Programa de vigilancia de gases en vertederos que admitan residuos biodegradables o residuos susceptibles de producir gases, para el control de los gases captados y de los emitidos de forma difusa, en fase de operación y en fase de postclausura.	N.º de programas // % de vertederos con programas				
Protección y control de cultivos, explotaciones ganaderas y fuentes de agua en entorno	N.º de instalaciones controladas // % de áreas sensibles protegidas y controladas				

REFERENCIAS

- Organización Mundial de la Salud. Dioxinas. [actualizado 23 de noviembre de 2023; citado 18 de agosto de 2025] Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>
- Dirección de Salud Pública del Departamento de Sanidad del Gobierno Vasco. Incineración de residuos urbanos y salud pública. Vitoria-Gasteiz: Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia = Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 2004. https://www.osakidetza.euskadi.eus/contenidos/informacion/sanidad_ambiental_aire/es_def/adjuntos/incineracion.pdf
- Allsopp M, Costner P, Johnston P. Incineración y Salud. Conocimientos Actuales sobre los Impactos de las Incineradoras en la Salud Humana. Greenpeace. 2001.

<https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/incineraci-n-y-salud-2.pdf>

- Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. Environ Health. 2009; 8:60. doi:10.1186/1476-069X-8-60
- Domingo JL, Rovira J, Nadal M, Schuhmacher M. High cancer risks by exposure to PCDD/Fs in the neighborhood of an Integrated Waste Management Facility. Sci Total Environ. 2017; 607-608:63-8. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.272
- Tait PW, Brew J, Che A, Costanzo A, Danyluk A, Davis M et al. The health impacts of waste incineration: a systematic review. Aust N Z J Public Health. 2020; 44(1):40-8. doi: 10.1111/1753-6405.12939
- Air Quality Consultants. Health Effects due to Emissions from Energy from Waste Plant in London. 2020. [citado 18 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/gla_efw_study_final_may2020.pdf



4.5 Origen: DOMÉSTICO

Más de la mitad de las emisiones de partículas proceden de la quema de combustibles sólidos para calefacción. Los sectores residencial, comercial e institucional son la principal fuente de contaminación por partículas en Europa.

(<https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230822STO04226/que-hace-la-ue-para-reducir-la-contaminacion-del-aire>)

4.5.1 Principales impactos sobre la salud

Descripción y cuantificación de los impactos	Contaminantes atmosféricos	Población afectada	Referencia bibliográfica	Nivel Evidencia ²
Mortalidad por cardiopatía isquémica Mortalidad por accidentes cerebrovasculares Mortalidad por infecciones respiratorias de las vías bajas Mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) Mortalidad por cáncer de pulmón	SO ₂ PM _{2,5}	Adulta	1-4	4/5
Infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores	NO _x	Infancia	3	4/5
Cáncer	Hidrocarburos aromáticos policíclicos		5	4
Cáncer de pulmón	Exposición a la combustión de carbón, madera y combustibles sólidos combinados en ambientes interiores	Adulta	8	4
Infecciones de vías respiratorias bajas y altas	Exposición a la combustión de carbón, madera y combustibles sólidos combinados en ambientes interiores	Infancia	9	4

² Categorías: nivel 1 (noticias, sentido común), nivel 2 (opiniones de expertos), nivel 3 (estudios epidemiológicos, serie de casos, estudios de cohortes, casos y controles, otros), nivel 4 (metanálisis, revisión sistemática), nivel 5 (guías, documentos de consenso).

4.5.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados

La principal fuente de emisiones está relacionada con procesos de combustión para producir calor y movimiento; además, hay que considerar el uso de determinados productos químicos. Con gran diferencia, el principal mecanismo es la **climatización**, especialmente en calderas o chimeneas que usen combustibles sólidos o líquidos – producen NOx, CO, SO2 y PM. Los productos químicos, como disolventes, pinturas y productos de limpieza, aportan COVs y partículas.

El resto de las actividades suele producir pocas emisiones locales (partículas y olores, sobre todo procedentes de cocinas y aires acondicionados), ya que operan con electricidad de manera habitual. No obstante, hay que tener en cuenta las emisiones derivadas de estas actividades: las de generación eléctrica – que se incluye en el apartado industrial – y la gestión de residuos – que se incorpora en su ficha.

La intensidad y peligrosidad de las emisiones de las calderas depende de múltiples factores: número y características de los focos, **tipo de combustible** (más emisiones en combustibles sólidos, que en líquidos y gaseosos), calidad y estado físico del combustible (humedad, impurezas, granulometría) y potencia calorífica que se necesite (depende de la temperatura que queramos obtener y de la eficiencia en la combustión y en el aislamiento). Para reducir las emisiones, resulta clave fomentar el uso de combustibles menos contaminantes, mejorar la eficiencia energética y promover la **autogeneración** mediante energías renovables.

Si bien el impacto sobre la salud de la población está condicionado por factores externos como la meteorología o el diseño urbano (dis-

persión atmosférica, presencia de zonas verdes), en el caso de contaminantes de origen doméstico, el riesgo más importante suele estar asociado a la acumulación en espacios interiores poco ventilados, lo que puede incrementar significativamente la exposición. No obstante, la contaminación del aire interior excede el alcance de esta guía y, por tanto, no es abordada en detalle en el presente documento.

4.5.3 Principales estrategias para reducir la contaminación

Descripción	Sustitución de sistemas de calefacción con combustibles líquidos o sólidos (como gasóleo o biomasa no controlada) por alternativas menos contaminantes (electricidad, aerotermia) en edificios residenciales y urbanos	Organismos implicados	MINTUR, MITERD (coordinación y financiación) Administración local Medio Ambiente Particulares / C Vecinales (ejecución)
Co-beneficios que pueden obtenerse	Mejora de visibilidad del entorno – protección frente accidentes de tráfico Eficiencia económica y confort térmico	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Ordenanza de Calidad del Aire y Sostenibilidad - Ayuntamiento de Madrid Plan Cambia 360 – Ayudas para sustitución de sistemas térmicos Proyecto europeo REPLACE	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Mejora del diseño y condiciones de uso de calderas/calefacciones para mejorar optimizar su eficiencia, reducir el consumo de combustible y minimizar las emisiones contaminantes	Organismos implicados	MINTUR, MITERD Administración local Particulares / C Vecinales
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico Prevención de accidentes en su operación	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	MITECO-Guía BP quema biomasa Plan Remica Hybrid Coste Cero	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Mejora de la eficiencia energética en edificios residenciales y/o de oficinas para reducir el consumo de energía y las emisiones asociadas (intervenciones de aislamiento, climatización, etc.)	Organismos implicados	Administración local Comunidades Autónomas Particulares / C Vecinales
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico Confort en edificios (térmico y calidad del aire interior) Reducción del efecto de isla de calor urbana	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	MITERD-catálogo de medidas estandarizadas de eficiencia energética (Anexo Medidas) Programa PAREER-CRECE	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Implantación de sistemas de producción de energía cuyo origen sean fuentes renovables, especialmente en cubiertas de edificios residenciales y de oficinas	Organismos implicados	MINTUR, MITERD Administración local Particulares / C Vecinales
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico Reducción de exposición a campos electromagnéticos en transporte de energía Contribución a la transición energética	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	POWERTY – Energías renovables para colectivos vulnerables Programa de Autoconsumo Fotovoltaico en Edificios Municipales (Barcelona) Plan Andaluz de Fomento del Autoconsumo Energético	Viabilidad técnica-económica	

Nota: MINTUR – Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
MITERD – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

4.5.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD
Prohibición de uso de calderas de carbón	N.º de ordenanzas adoptadas y en vigor				
Subvenciones para la sustitución de calderas de gas-oil por GN o GLP	N.º de calderas sustituidas				
Control y registro de focos de emisiones	N.º de focos				
Control de calderas de pellets/biomasa y barbacoas	N.º de inspecciones realizadas // % de calderas correctas				
Aplicación de los reglamentos de diseño ecológico a nuevas calderas / equipos de calefacción que emplean biomasa	N.º de instalaciones que cumplen la medida				
Sustitución de equipos existentes por otros que cumplan con los valores de emisión (reglamentos de desarrollo de la <i>Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a diseño ecológico</i>)	N.º de equipos sustituidos				
Mejoras operacionales en las calderas de calefacción y Agua Caliente Sanitaria comunitaria e individual	N.º de calderas revisadas y/o adaptadas				
Prohibición de instalación de chimeneas abiertas. Sustitución de las existentes	N.º de ordenanzas // N.º de chimeneas eliminadas				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Control de la aplicación del Código Técnico de la Edificación en nueva construcción y rehabilitación de edificios	N.º de edificios inspeccionados				
Control de la aplicación del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en nueva construcción y rehabilitación de edificios	N.º de edificios inspeccionados				
Revisión de la calificación energética de edificios existentes y en la construcción de nuevas edificaciones	N.º de edificios con tipo de calificación Mejora de la calificación energética media de edificios				
Desarrollo e implantación de planes de certificación energética de edificios tanto públicos como privados.	Nº de certificados energéticos de edificios				
Fomento de la rehabilitación de viviendas con el objeto de contribuir a la mejora de la eficiencia energética y sostenibilidad	N.º de ayudas concedidas por tipo de actuación Ahorro energético estimado (% o kWh/año)				
Adopción de sistemas de "District Heating": suministro de agua caliente y/o calefacción a consumidores urbanos procedente del calor residual de instalaciones industriales próximas	MWh ahorrados				
Dotación de instalaciones de energía solar térmica en edificios existentes y construcción de nuevas edificaciones	N.º de instalaciones de energía solar térmica y superficie instalada				
Instalaciones solares fotovoltaicas en cubiertas de todo tipo (edificios municipales, centros educativos, centros de ocio, empresas, particulares, ...)	N.º de instalaciones de energía solar fotovoltaica y superficie instalada Potencia instalada (kWp) o energía generada (MWh/año)				
Instalaciones de aerotermia conectadas a solares fotovoltaicas en cubiertas (edificios municipales, centros educativos, de ocio, empresas, particulares)	N.º de instalaciones				
Instalación de energía geotérmica en edificios públicos	N.º de instalaciones				

REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. Contaminación del aire doméstico. [actualizado 16 de octubre de 2024; citado 18 de agosto de 2025] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
2. Sin DD, Doiron D, Agusti A, Anzueto A, Barnes PJ, Celli BR et al. GOLD Scientific Committee. Air pollution and COPD: GOLD 2023 committee report. Eur Respir J. 2023; 61(5):2202469.

doi: 10.1183/13993003.02469-2022
3. Saxena K. Association Between Maternal Prenatal Exposure to Household Air Pollution and Child Respiratory Health: A Systematic Review and Meta-analysis. Yale J Biol Med. 2024;97(1):29-40.

doi: 10.59249/TAVR4964
4. Shupler M, Godwin W, Frostad J, Gustafson P, Arku RE, Brauer M. Global estimation of exposure to fine particulate matter (PM2.5) from household air pollution. Environ Int. 2018; 120:354-63.

doi: 10.1016/j.envint.2018.08.026
5. Arif I, Adams MD, Johnson MTJ. A meta-analysis of the carcinogenic effects of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons. Environ Pollut. 2024; 351:123941.

doi: 10.1016/j.envpol.2024.123941
6. Ayuntamiento de Madrid. Plan Carbón Cero.Las calderas de carbón no podrán funcionar en Madrid a partir del próximo 1 de enero. [citado 18 de agosto de 2025] Disponible en: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Actualidad/Noticias/Las-calderas-de-carbon-no-podran-funcionar-en-Madrid-a-partir-del-proximo-1-de-enero/?vgnnextfmt=default&vgnnexto id=222d8550bdafd710VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnnextchannel=a12149fa40ec9410VgnVCM100000171f5a0aRCRD>
7. Comunidad de Madrid. Ayudas a las actuaciones de rehabilitación energética de edificios residenciales y viviendas – PRTR. [citado el 18 de agosto de 2024] Disponible en: <https://www.comunidad.madrid/servicios/vivienda/ayudas-actuaciones-rehabilitacion-energetica-edificios-residenciales-viviendas-prtr>
8. Guercio V, Doutsis A, Exley KS. A systematic review on solid fuel combustion exposure and respiratory health in adults in Europe, USA, Canada, Australia and New Zealand. Int J Hyg Environ Health. 2022; 241:113926.

doi: 10.1016/j.ijheh.2022.113926.
9. Guercio V, Pojum IC, Leonardi GS, Shrubsole C, Gowers AM, Dimitroulopoulou S, et al. Exposure to indoor and outdoor air pollution from solid fuel combustion and respiratory outcomes in children in developed countries: a systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ. 2021; 755(Pt 1):142187.

doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142187.



4.6

Origen: AGROFORESTAL-GANADERO

Las emisiones de amoníaco (NH_3) suponen un grave problema puesto que este contaminante tiene la capacidad de formar partículas $\text{PM}_{2,5}$ que al ser inhaladas pueden afectar a distintos sistemas corporales. El sector agrario (agricultura y ganadería) es el sector que más contribuye a las emisiones de amoníaco en España.

(https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-es-iir_edicion2023_tcm30-560375.pdf)

Cabe considerar también el elevado efecto irritante del amoníaco sobre las vías altas respiratorias y su relación con enfermedades respiratorias. Es importante señalar que la liberación de metano, contribuye indirectamente a la formación de ozono y material particulado, causando problemas respiratorios y cardiovasculares.

4.6.1 Principales impactos sobre la salud

Descripción y cuantificación de los impactos	Contaminantes atmosféricos	Población afectada	Referencia bibliográfica	Nivel Evidencia ¹
Enfermedades cardiovasculares	$\text{PM}_{2,5}$ $\text{PM}_{0,1}$	Toda	1-2	4
Enfermedades respiratorias Asma y alergia	PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NH_3	Toda	3-4	4
Trastornos neurológicos Trastornos hormonales Disrupción endocrina Cáncer Alteraciones desarrollo embrionario	- Herbicidas y plaguicidas - Productos fitosanitarios - Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM)	Toda	5	4
Migraña	CH_4	Adulta	6	4
Enfermedades cardiorrespiratorias Mortalidad prematura	NH_3 (por formación de $\text{PM}_{2,5}$ -aerosoles secundarios inorgánicos)	Adulta	7	4

¹ Categorías: nivel 1 (noticias, sentido común), nivel 2 (opiniones de expertos), nivel 3 (estudios epidemiológicos, serie de casos, estudios de cohortes, casos y controles, otros), nivel 4 (metanálisis, revisión sistemática), nivel 5 (guías, documentos de consenso).

4.6.2 Fuentes, mecanismos y factores de riesgo asociados

Podemos distinguir tres principales grupos de fuentes. En primer lugar, la **ganadería** produce metano, amoníaco, partículas y compuestos orgánicos volátiles (COVs), responsables también de olores, tanto en los procesos de cría y engorde de animales como, sobre todo, en la gestión de sus residuos y estiércoles. La agricultura genera NO_x , NH_3 y PM , sobre todo como consecuencia del laboreo (movimiento de tierras) y la aplicación de fertilizantes. La **quema de biomasa** (intencionada o accidental) en el sector agrícola y forestal es una fuente importante de PM . De forma adicional, deben considerarse las emisiones procedentes

del uso de maquinaria y motores de combustión interna, cuyo aporte, aunque de menor magnitud, incluye NOx y PM (ver fichas de tráfico, por ejemplo).

La intensidad y peligrosidad de las emisiones depende del volumen y tipo de animales/cultivos considerados, así como de su intensidad productiva. Gran parte de los impactos ambientales están ligados tanto al tipo de insumos utilizados (piensos, fertilizantes, productos químicos) como a las prácticas de manejo adoptadas. Las diferencias son notables al comparar, por ejemplo, el compostaje frente a la quema de rastrojos en la generación de contaminantes y la gestión de residuos, el uso de fertilizantes sintéticos y plaguicidas frente a **alternativas ecológicas**, la aplicación de herbicidas frente a la conservación de biomasa natural o el esparcimiento directo de purines frente a su biotratamiento.

En general, el impacto sobre la población es limitado siempre que exista una distancia suficiente entre las actividades agroforestales y ganaderas con las áreas habitadas. No obstante, resulta recomendable incrementar estas distancias de seguridad y procurar que la dirección de los vientos dominantes favorezcan la dispersión de contaminantes lejos de las zonas habitadas. También se recomienda el uso de barreras vegetales.

4.6.3 Principales estrategias para reducir la contaminación

Descripción	Reducción de emisiones derivadas de quemas o incendios controlados o incontrolados en ámbito agrícola o forestal	Organismos implicados	Agricultura y Medio Ambiente Administración local Particulares / Cooperativas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Reducción de daños por incendios a bienes o personas Conservación de ecosistemas y fijación de carbono	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Gobierno de Aragón-Comunicación de quema de residuos vegetales sin continuidad, fuera de época de peligro	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Reducción de arrastre del suelo (partículas) mediante buenas prácticas que incrementen compactación o reduzcan erosión	Organismos implicados	Agricultura y Medio Ambiente Administración local Particulares / Cooperativas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Conservación del suelo y protección de la biodiversidad asociada Ahorro económico y mejora en el rendimiento de explotaciones	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Promoción de cubiertas vegetales en suelos de cultivos leñosos	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Reducción de emisiones de amoníaco asociadas al uso de fertilizantes o a la gestión de residuos orgánicos ganaderos	Organismos implicados	Agricultura Particulares / Cooperativas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico Reducción de la contaminación química del suelo y acuíferos	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Reducción de emisiones de amoníaco en la agricultura mediterránea a través de técnicas innovadoras	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Reducción emisiones generadas por el uso de maquinaria, calderas y otros equipos motorizados	Organismos implicados	Admon Estado y Autonomías Administración local Particulares / Cooperativas
Co-beneficios que pueden obtenerse	Ahorro económico	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Ayudas del Plan de Renovación del Parque Nacional de Maquinaria Agrícola (PLAN RENOVE)	Viabilidad técnica-económica	

Nota: MINTUR – Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
MITERD – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

4.6.4 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA	TIEMPO	COSTE	CONFLICTIVIDAD
Limitaciones derivadas de quema de restos agroforestales en medianas y grandes explotaciones	N.º de autorizaciones concedidas % solicitudes rechazadas				
Limitación de la quema de restos agroforestales en micro y pequeñas explotaciones en condiciones meteorológicas adversas	N.º de autorizaciones concedidas N.º de alertas meteorológicas registradas				
Fomento de adquisición de trituradoras de restos de podas e instalaciones compostaje	N.º de ayudas concedidas // Inversión total				
Gestión forestal activa, desbroces, limpieza, reforestación con especies más resistentes, etc	Hectáreas gestionadas // Superficie total forestal				
Uso de ganado para la eliminación de biomasa combustible	N.º de cabezas de ganado // Hectáreas utilizadas				
Mantenimiento de cortafuegos y franjas seguridad con carreteras / Líneas Alta Tensión	Km de cortafuegos en estado óptimo // Distancia media				
Sistemas de vigilancia y detección temprana incendios	N.º de torres vigilancia, drones, personal // N.º de torres de vigilancia, drones, personal por hectárea // Tiempo medio de detección				
Inversión en medios humanos y materiales para extinción de incendios	N.º de personas, hidroaviones, camiones Tiempo de respuesta promedio				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Fomento de la práctica de agricultura de conservación, sin laboreo, con siembra directa	N.º de actuaciones // Hectáreas que adoptan estas prácticas Hectáreas adoptadas/total cultivado				
Implantación de regímenes de siembra sobre rastrojos y de cubierta inerte en cultivos leñosos	N.º de actuaciones // Hectáreas que adoptan estas prácticas Hectáreas adoptadas/total hectáreas leñosas				
<i>Asesoramiento a PYMEs para reducir el impacto de las empresas rurales sobre el medio ambiente, la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo, la biodiversidad y la protección del agua (anexo I del Reglamento (UE) n° 1307/2013)</i>	N.º de actuaciones // Presupuesto aportado N.º de PYMEs asesoradas/inversión (€)				
Promoción de técnicas que pretenden reducir la superficie de aplicación de los fertilizantes y maximizar su enterramiento durante la incorporación al suelo	N.º de actuaciones // Hectáreas que adoptan estas prácticas				
Promoción de técnicas de gestión de residuos y deyecciones que eviten su infiltración y/o arrastre por viento	N.º de actuaciones				
Promoción de la valorización energética de estiércoles y biomasa agrícola (cuidando las emisiones de la combustión). Digestión anaeróbica	N.º de actuaciones N.º de instalaciones de biogás/producción energética (MWh)				
En caso de aplicación de estiércol como abono, aplicación de inhibidores de ureasa para evitar la generación de amoníaco	N.º de actuaciones N.º de explotaciones/hectáreas tratadas				
Fomento de las prácticas de alimentación de precisión en ganadería para reducir la producción de derivados nitrogenados en el estiércol y del metano liberado	N.º de actuaciones de concienciación				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA				TIEMPO				COSTE				CONFLICTIVIDAD			
Ayudas para adaptación a la normativa de limitación de emisiones en maquinaria agrícola	N.º de ayudas // Presupuesto aportado																
Ayudas para financiar instalaciones solares fotovoltaicas en cubiertas de todo tipo y/o de aerotermia para reducir las emisiones ligadas al consumo de energía	N.º de instalaciones de energía solar fotovoltaica y superficie instalada																
Ayudas para financiar instalaciones de energía renovable que sustituyan a las calderas para calentamiento de agua o calefacción	N.º de instalaciones de energía renovable // Presupuesto aportado																
Asesoramiento a PYMEs para reducir el impacto de las empresas rurales sobre el medio ambiente, por ejemplo, en la realización de diagnósticos ambientales	N.º de instalaciones asesoradas																

REFERENCIAS

1.

Williams VA, Perreault LR, Yazbeck CT, Micovic NA, Oakes JM, Bellini C. Impact of Wildfires on Cardiovascular Health. Circ Res. 2024; 134(9):1061-82.

doi: 10.1161/CIRCRESAHA.124.323614

2.

Naserinejad N, Costanian C, Birot O, Barboni T, Roudier E. Wildland fire, air pollution and cardiovascular health: is it time to focus on the microvasculature as a risk assessment tool? Front Physiol. 2023; 14:1225195.

doi: 10.3389/fphys.2023.1225195

3.

Covert HH, Abdoel Wahid F, Wenzel SE, Lichtveld MY. Climate change impacts on respiratory health: exposure, vulnerability, and risk. Physiol Rev. 2023; 103(4):2507-22.

doi: 10.1152/physrev.00043.2022

4.

Noah TL, Worden CP, Rebuli ME, Jaspers I. The Effects of Wildfire Smoke on Asthma and Allergy. Curr Allergy Asthma Rep. 2023; 23(7):375-87.

doi: 10.1007/s11882-023-01090-1

5.

Mohd Ghazi R, Nik Yusoff NR, Abdul Halim NS, Wahab IRA, Ab Latif N, Hasmoni SH et al. Health effects of herbicides and its current removal strategies. Bioengineered. 2023; 14(1):2259526.

doi:10.1080/21655979.2023.2259526

6.

Portt AE, Orchard C, Chen H, Ge E, Lay C, Smith PM. Migraine and air pollution: A systematic review. Headache. 2023; 63(9):1203-19.

doi: 10.1111/head.14632

7.

Wyer KE, Kelleghan DB, Blanes-Vidal V, Schauburger G, Curran TP. Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health. J Environ Manage. 2022; 323:116285.

doi: 10.1016/j.jenvman.2022.

8.

Methane & Health. Global Climate & Health Alliance. [citado el 4 de octubre de 2025] Disponible en: <https://climateandhealthalliance.org/methane-health/>



4.7 Origen: FUENTES NATURALES

Los principales orígenes que se encuadran dentro de las fuentes naturales son las erupciones volcánicas (generan emisiones significativas de gases y partículas), los incendios (aunque se tratan también en la ficha de fuentes agrícolas y forestales), los arrastres de material pulverulento desde zonas desérticas por las condiciones climatológicas (intrusiones africanas), las emisiones de metano asociadas a los rumiantes, las emisiones biogénicas de COVs derivadas de la vegetación, los aerosoles marinos en zonas costeras y el polen. Aunque se trata de fuentes naturales, estas emisiones pueden tener un impacto significativo en la salud humana, especialmente en los sistemas respiratorio, cardiovascular y en las enfermedades alérgicas, así como en posibles efectos cancerígenos.

4.7.1 Principales impactos sobre la salud

Descripción y cuantificación de los impactos	Contaminantes atmosféricos	Población afectada	Referencia bibliográfica	Nivel Evidencia ¹
Enfermedades cardiovasculares	PM2,5 PM0,1 H ₂ S CO NO _x HAP SO ₂	Adulta e Infancia	1-2, 4, 9	4
Enfermedades respiratorias Asma y alergia Bronquitis aguda		Adulta e Infancia	3-9	4
Cáncer	HAP	Adulta	10	4
Enfermedades del sistema respiratorio y cardiovascular Enfermedades infecciosas y no infecciosas	PM2,5 PM10 Bacterias Hongos	Adulta e Infancia	11-14	4
Enfermedades del sistema respiratorio Cáncer	COV	Adulta	15	4
Rinitis alérgica. Asma	Polen	Adulta e Infancia	16-18	4

¹ Categorías: nivel 1 (noticias, sentido común), nivel 2 (opiniones de expertos), nivel 3 (estudios epidemiológicos, serie de casos, estudios de cohortes, casos y controles, otros), nivel 4 (metanálisis, revisión sistemática), nivel 5 (guías, documentos de consenso).

4.7.2 Principales estrategias para reducir los efectos de la contaminación

Al tratarse de fuentes naturales, no se puede actuar sobre las fuentes, por lo que la reducción tendrá que venir de la compensación global (reduciendo las emisiones de otras fuentes) y del desarrollo de estrategias para reducir el impacto sobre la población (reducción de la exposición, avisos y recomendaciones, etc.) que se incorporan en la ficha siguiente (8. Origen: TODOS LOS SECTORES)

REFERENCIAS

1. Williams VA, Perreault LR, Yazbeck CT, Micovic NA, Oakes JM, Bellini C. Impact of Wildfires on Cardiovascular Health. *Circ Res.* 2024;134(9):1061-82.

doi: 10.1161/CIRCRESAHA.124.323614
2. Naserinejad N, Costanian C, Birot O, Barboni T, Roudier E. Wildland fire, air pollution and cardiovascular health: is it time to focus on the microvasculature as a risk assessment tool? *Front Physiol.* 2023; 14:1225195.

doi: 10.3389/fphys.2023.1225195
3. Noah TL, Worden CP, Rebuli ME, Jaspers I. The Effects of Wildfire Smoke on Asthma and Allergy. *Curr Allergy Asthma Rep.* 2023; 23(7):375-87.

doi: 10.1007/s11882-023-01090-1
4. Balmes JR. The Changing Nature of Wildfires: Impacts on the Health of the Public. *Clin Chest Med.* 2020; 41(4):771-76.

doi: 10.1016/j.ccm.2020.08.006
5. Mueller W, Cowie H, Horwell CJ, Hurley F, Baxter PJ. Health Impact Assessment of Volcanic Ash Inhalation: A Comparison With Outdoor Air Pollution Methods. *Geohealth.* 2020; 4(7):e2020 GH000256.

PMID: 32642627
6. Ruano-Ravina A, Acosta O, Díaz Pérez D, Casanova C, Velasco V, Llanos AB et al. Analysis of Exposure and Respiratory Health Effects of Volcanic Eruption in the Canary Islands (ASHES). A SEPAR Study. *Arch Bronconeumol.* 2022; 58(11):780-2.

doi: 10.1016/j.arbres.2022.04.012
7. Dyregrov A, Yule W, Olff M. Children and natural disasters. *Eur J Psychotraumatol.* 2018; 9(Suppl 2):1500823.

doi:10.1080/20008198.2018.1500823
8. Carlos WG, Gross JE, Jamil S, Dela Cruz CS, Damby D, Tam E. Volcanic Eruptions and Threats to Respiratory Health. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018; 197(12):21-2.

doi: 10.1164/rccm.19712P21
9. Nicole W. Clear and Present Dangers: The Multiple Health Hazards of Volcanic Eruptions. *Environ Health Perspect.* 2022; 130(2):22001.

doi: 10.1289/EHP10541
10. Mallah MA, Changxing L, Mallah MA, Noreen S, Liu Y, Saeed M et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overreview. *Chemosphere.* 2022; 296:133948.

doi:10.1016/j.chemosphere.2022.133948
11. Jasim SA, Mohammadi MJ, Patra I, Jalil AT, Taherian M, Abdullaeva UY et al. The effect of microorganisms (bacteria and fungi) in dust storm on human health. *Rev Environ Health.* 2022; 39(1):65-75.

doi: 10.1515/reveh-2022-0162
12. Sadeghimoghaddam A, Khankeh H, Norozi M, Fateh S, Farrokhi M. Investigating the effects of dust storms on morbidity and mortality due to cardiovascular and respiratory diseases: A systematic review. *J Educ Health Promot.* 2021; 10(1):191.

doi: 10.4103/jehp.jehp_1272_20
13. Schweitzer MD, Calzadilla AS, Salamo O, Sharifi A, Kumar N, Holt G et al. Lung health in era of climate change and dust storms. *Environ Res.* 2018; 163:36-42.

doi: 10.1016/j.envres.2018.02.001
14. Aghababaeian H, Ostadtaghizadeh A, Ardalan A, Asgary A, Akbary M, Yekaninejad MS et al. Global Health Impacts of Dust Storms: A Systematic Review. *Environ Health Insights.* 2021; 15:11786302211018390.

doi: 10.1177/11786302211018390
15. Duan C, Liao H, Wang K, Ren Y. The research hotspots and trends of volatile organic compound emissions from anthropogenic and natural sources: A systematic quantitative review. *Environ Res.* 2023; 216(1):114386. Erratum in: *Environ Res.* 2023 Feb 1;218:114964.

doi: 10.1016/j.envres.2022.114386
16. D'Amato G, D'Amato M. Climate change, air pollution, pollen allergy and extreme atmospheric events. *Curr Opin Pediatr.* 2023; 35(3):356-61.

doi: 10.1097/MOP.0000000000001237
17. Annesi-Maesano I, Cecchi L, Biagioni B, Chung KF, Clot B, Collaud Coen M et al. Is exposure to pollen a risk factor for moderate and severe asthma exacerbations? *Allergy.* 2023; 78(8):2121-47.

doi: 10.1111/all.15724
18. Venkatesan S, Zare A, Stevanovic S. Pollen and sub-pollen particles: External interactions shaping the allergic potential of pollen. *Sci Total Environ.* 2024 May; 926:171593.

doi:10.1016/j.scitotenv.2024.171593

4.8 Origen: TODOS LOS SECTORES

Se incluyen en este apartado otras estrategias dirigidas a reducir el impacto sobre la población de una forma indirecta, es decir a través de actuaciones de divulgación, concienciación y reducción de la exposición. Estas estrategias se dirigen al estado de calidad del aire en general, por lo que pueden y deben aplicarse en combinación a las presentadas en las fichas individuales sea cual sea el origen de la contaminación.

4.8.1 Otras estrategias para reducir los efectos de la contaminación

Descripción	Reducción de la exposición a la contaminación, especialmente en los grupos más vulnerables	Organismos implicados	Salud, Medio Ambiente Administración local
Co-beneficios que pueden obtenerse	Control de enfermedades transmisibles por vía respiratoria	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Ayuntamiento de Burgos-Plan de Acción a Corto Plazo	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Incremento del conocimiento (en precisión y anticipación) de niveles reales y previstos de contaminantes	Organismos implicados	Medio Ambiente Universidad Administración local
Co-beneficios que pueden obtenerse	Fortalecimiento de redes de innovación y de I+D	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Sistema de Predicción de la Contaminación Atmosférica de Zaragoza PRECOZ	Viabilidad técnica-económica	
Descripción	Comunicación efectiva a la ciudadanía de niveles de riesgo, actuaciones de autoprotección y sensibilización sobre cuestiones relacionadas con la contaminación del aire	Organismos implicados	Salud, Medio Ambiente Administración local
Co-beneficios que pueden obtenerse	Incremento de la sensibilización en otras áreas relacionadas con la sostenibilidad	Eficacia de las medidas	
Experiencias y Buenas Prácticas	Red Palinocam (Comunidad Madrid) Portal Calidad del Aire (Ayto. Madrid)	Viabilidad técnica-económica	

4.8.2 Medidas prioritarias para mejorar la calidad del aire (derivadas de las estrategias anteriores)

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA	TIEMPO	COSTE	CONFLICTIVIDAD
Reducción de la actividad física al aire libre (colegios, residencias de personas mayores, instalaciones deportivas públicas, etc.)	Notificaciones o recomendaciones enviadas // Medidas adoptadas				
Evitar la exposición personal a la contaminación (mascarillas, gafas, etc.)	N.º de actuaciones // Equipos de protección individual adquiridos				
Diseño de barrios de proximidad, donde se reduzca la necesidad de usar vehículos	% de población a menos de 500 m de ...				
Diseño de la ciudad para alejar a la población de fuentes de contaminación	Distancia media de la población a fuentes				
Creación y mantenimiento de zonas verdes (sumideros de contaminación)	Superficie verde/contaminante // % de superficie verde				
Selección de especies de baja alergenicidad en las zonas verdes del municipio	N.º o % de plantas baja alergenicidad				
Sistemas de pronóstico meteorológico y de calidad del aire	Sensibilidad del pronóstico // Calidad de los datos				
Redes de monitorización de contaminación y de polen	N.º de estaciones // N.º de contaminantes medidos // % de población cubierta				
Modelización de contaminación: estudios de contribución de fuentes contaminantes	Sistema creado: Sí/NO				
Adopción de prácticas voluntarias de sostenibilidad y transparencia con la comunidad, escuchando sus demandas y solucionando sus dudas o temores	N.º de acciones // N.º de reuniones // N.º de quejas				

MEDIDAS	INDICADORES DE SEGUIMIENTO	DEPENDENCIA 	TIEMPO 	COSTE 	CONFLICTIVIDAD 
Creación de sistemas de alertas que se nutran de la información anterior.	N.º de alertas // N.º de recomendaciones // N.º de medidas adoptadas				
Sistema de avisos personalizado ante situaciones de riesgo y de mala calidad del aire (Apps, teléfonos, en persona...)	N.º de personas incluidas // N.º de avisos				
Actividades y campañas de divulgación general y sensibilización sobre cuestiones relacionadas con la calidad del aire y la contribución individual al problema	N.º de campañas // N.º de materiales generados o entregados				
Mejorar el acceso a la información mediante su difusión y asesoría sobre las subvenciones o beneficios fiscales específicos para las medidas de promoción implantadas	N.º de campañas // N.º de materiales generados o entregados				
Realizar campañas de formación y sensibilización para personas empleadas en actividades que generan contaminación	N.º de campañas // N.º de personas formadas				

The image features a minimalist design with a light blue vertical bar running down the center. Three stylized blue clouds are positioned around the bar: one at the top right, one on the middle left, and one at the bottom right. The text '[ANEXOS]' is centered horizontally across the middle of the image, overlapping the vertical bar.

[ANEXOS]

ANEXO 1

NORMATIVA DE APLICACIÓN

UE

- Directiva (UE) 2024/2881 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2024, sobre la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, (versión refundida). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2024-81722>
- Directiva 2015/1480 de la Comisión, de 28 de agosto, por la que se modifican varios anexos de las directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2015-81697>
- Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (derogación 12/12/26). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-81053>
- Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el níquel, el mercurio y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente (derogación 12/12/2026). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2005-80075>

REINO DE ESPAÑA

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-19744&p=20251204&tn=6>
- Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-4494&p=20200910&tn=6>
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>
- Real Decreto 39/2017, de 27 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-914>

ANEXO 2

VALORES NORMATIVOS Y DE LA OMS DEFINIDOS PARA LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA

Valores de referencia legislados según su fecha de aplicación y los valores de la OMS. Junto con los valores que lo requieren se especifica entre paréntesis el número de ocasiones al año en que no puede superarse dicho valor. Fuente: elaboración propia

CONTAMINANTE	PERIODO	VALOR APLICABLE HASTA 2030	VALOR APLICABLE A PARTIR 01.01.2030	VALOR APLICABLE A PARTIR 01.01.2050	VALOR GUÍA OMS
PM _{2,5}	Media anual	25 µg/m ³	10 µg/m ³		5 µg/m ³
	Media diaria		25 µg/m ³ (18 o.a.c.)		15 µg/m ³ (3-4 o.a.c.)
PM ₁₀	Media anual	40 µg/m ³	20 µg/m ³		15 µg/m ³
	Media diaria	50 µg/m ³ (35 o.a.c.)	45 µg/m ³ (18 o.a.c.)		45 µg/m ³ (3-4 o.a.c.)
NO ₂	Media anual	40 µg/m ³	20 µg/m ³		10 µg/m ³
	Media diaria		50 µg/m ³ que no podrá superarse en más de 18 o.a.c.		25 µg/m ³ (3-4 o.a.c.)
	Media horaria	200 µg/m ³ (18 o.a.c.)	200 µg/m ³ (3 o.a.c.)		200 µg/m ³
SO ₂	Media anual		20 µg/m ³		
	Media horaria	125 µg/m ³ (3 o.a.c.)	50 µg/m ³ (18 o.a.c.)		40 µg/m ³ (3-4 o.a.c.)
	Media horaria	350 µg/m ³ (24 o.a.c.)	350 µg/m ³ (3 o.a.c.)		
O ₃	Máxima diaria de las 8-horarias móviles	120 µg/m ³ (25 días por año civil en un promedio de 3 años) (VO) (hasta el 01/01/2030)	120 µg/m ³ (18 días por año civil en un promedio de 3 años) (VO)	100 µg/m ³ (3 o.a.c.) (VO largo plazo)	100 µg/m ³ (3-4 o.a.c.)
CO	Máxima diaria de las medias 8-horarias móviles	10 mg/m ³	10 mg/m ³		10 mg/m ³
	Media diaria		4 mg/m ³ (18 o.a.c.)		4 mg/m ³ (3-4 o.a.c.)
C ₆ H ₆ *	Media anual	5 µg/m ³	3,4 µg/m ³		1,7 µg/m ³
Pb	Media anual	0,5 µg/m ³	0,5 µg/m ³		0,5 µg/m ³
As*	Media anual	6,0 ng/m ³ (VO)	6,0 ng/m ³		6,6 ng/m ³
Cd	Media anual	5,0 ng/m ³ (VO)	5,0 ng/m ³		5 ng/m ³
Ni*	Media anual	20 ng/m ³ (VO)	20 ng/m ³		25 ng/m ³
BaP*	Media anual	1,0 ng/m ³ (VO)	1,0 ng/m ³		0,12 ng/m ³

o.a.c.: ocasiones por año civil; VO: valor objetivo; * Para determinados contaminantes las OMS no recomienda ningún nivel seguro de exposición por lo que se muestran los valores para un riesgo de 1/100 000

Umbral de información y de alerta definidos en la normativa. Fuente: elaboración propia

CONTAMINANTE	UMBRAL DE INFORMACIÓN		UMBRAL DE ALERTA	
	Periodo de cálculo de la media	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo de cálculo de la media	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SO_2	1 hora	275	1 hora	350
NO_2	1 hora	150	1 hora	200
$\text{PM}_{2,5}$	1 día	50	1 día	50
PM_{10}	1 día	90	1 día	90
O_3	1 hora	180	1 hora	240