



# ambienta

nº 133 | septiembre 2022

**Salud y  
Medio  
Ambiente**

- 04** Entrevista: **María Neira.**  
Directora del Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de la OMS.  
Por **Charo Barroso**
- 10** Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente.  
Por **Marta Gómez Palenque**  
Directora de Calidad y Evaluación Ambiental MITERD
- 18** La importancia del concepto One Health.  
Por **Israel Cruz**  
Escuela Nacional de Sanidad, Instituto de Salud Carlos III, CIBERINFEC
- 28** Retos actuales en contaminación atmosférica.  
Por **Xavier Querol**  
Profesor de Investigación. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua del CSIC (IDAEA-CSIC)
- 36** Efectos en la salud de la contaminación atmosférica química y acústica urbana.  
Por **Julio Díaz**  
Unidad de Referencia de Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano. Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III
- 52** Temperaturas extremas y riesgos para la salud.  
Por **Cristina Linares**  
Codirectora de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano. Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III
- 60** Radiación solar ultravioleta.  
Por **Marín M.J.<sup>1</sup>, Estellés V.<sup>2</sup>, Gómez-Amo, J.L.<sup>2</sup> y Utrillas M.P.<sup>2</sup>**  
Grupo de Radiación Solar de Valencia.  
(1) Departament de Matemàtiques per a l'Economia i l'Empresa.  
(2) Departament de Física de Terra i Termodinàmica

- 68** Cambio climático y seguridad alimentaria.  
Por **Isidro J. Mirón**  
Veterinario y doctor en Epidemiología y Salud Pública. Consejería de Sanidad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha
- 76** ¿Debemos protegernos de la radiación natural?  
Por **Marta García-Talavera San Miguel**  
Jefa del Área de Radiación Natural. Consejo de Seguridad Nuclear
- 84** Residuos no peligrosos y salud.  
Por **Piedad Martín-Olmedo y Andrea Pastor**  
(1) Presidenta Sección de Evaluación de Impacto en Salud. European Public Health Association; Escuela Andaluza de Salud Pública, Instituto de Investigación Biosanitaria de Granada (España)  
(2) TRAGSATEC. Ministerio de Sanidad
- 98** Ciudades saludables.  
Por **Manuel Franco**  
Investigador y profesor de Epidemiología y Salud Pública, Universidad de Alcalá de Henares. Profesor invitado, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health
- 102** Iniciativas: Proyecto Nextgen
- 104** Noticias



**Edita:**  
Subsecretaría  
Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

**Consejo Asesor:**  
Presidente: Miguel González Suela. Subsecretario MITERD

**Vocales:**  
Yolanda Mármol. Directora de Comunicación MITERD  
Francesc Boya. Secretario General para el Reto Demográfico. MITERD  
Miriam Bueno. Consejera Técnica. S. E. de Energía. MITERD

Antonio Gómez Sal. Catedrático de Ecología. Universidad de Alcalá  
Raquel González Pico. Asesora Gabinete S.E. Medio Ambiente  
Lourdes Lázaro. Coordinadora Desarrollo Corporativo UICN  
Cristina Linares. Científica titular. Instituto de Salud Carlos III  
Antonio Lucio. Presidente WWF España  
Carlos Mataix. Director itd.UPM  
Pepa Mosquera. Codirectora revista Energías Renovables  
José Manuel Naredo. Doctor en Ciencias Económicas  
Marta Nieto. Vocal Asesora Gabinete del Subsecretario. MITERD  
Charo Barroso. Ambienta

## María Neira

Directora del Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS)



© Cortesía Fundación 16 de 24 / Ramón Collado

## “La mejor política de salud global es la lucha contra el cambio climático”

**Neira considera que nuestra supervivencia depende de una manera brutal de la suerte de los ecosistemas**

**M**aría Neira González, especialista en Prevención y Erradicación de Enfermedades Infecciosas, dirige desde Ginebra el Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Clama por acelerar un cambio que frene el calentamiento global, pues considera que paliar el efecto que la contaminación está teniendo en la salud global es la mejor política multilateral que se puede impulsar en este momento. Esta endocrinóloga asturiana, quien ya había ejercido como presidenta de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria, está convencida de que España puede liderar el proceso de cambio hacia un modelo de producción agrícola y ganadera que no sea insostenible, como el actual; y además ofrecerse como país modelo para la transición energética global. Las políticas ambientales y de salud pública deben coordinarse y replantear en positivo el modelo

energético basado en combustibles fósiles no es cuestión de izquierdas o derechas, se trata de “sellar un pacto global por los pulmones”, nos explica en un ilustrativo diálogo desde Suiza.

—Salud y medio ambiente... ¿Constituyen un binomio inseparable?

—Claramente. Durante mucho tiempo hemos equivocado el discurso y la narrativa hablando, solo de salvar al planeta. Hemos hablado del nivel del mar, de la capa de ozono, de la desaparición de ecosistemas.... Pero nos faltó explicar qué impacto tiene todo eso en nuestra salud. Estamos hablando de salvar a la especie humana. Aunque estemos destruyendo el planeta (y nos estamos esforzando mucho y lo estamos destruyendo muy bien) éste encontrará la manera de sobrevivir. Los humanos no. Nos estamos autofagocitando.

—¿Somos conscientes de ello?

—A pesar de nuestra arrogancia tenemos que ser conscientes de nuestra vulnerabilidad. No podemos sobrevivir si dejamos de respirar, podemos hacer la prueba e intentarlo para comprobar lo poco que aguantamos; tampoco sobrevivimos si dejamos de beber durante días o de comer durante más de una semana. Nuestra supervivencia depende de una manera brutal de la suerte de los ecosistemas y en algún momento de nuestra historia reciente creo que se nos ha olvidado. Necesitamos tener una convivencia con los ecosistemas y no una confrontación para asegurarnos sus beneficios. Tenemos mucho que ganar si vamos a favor de la Naturaleza y mucho que perder si vamos en contra. Y tenemos que saber qué estamos poniendo en el medio ambiente y cómo nos lo va a devolver.

—Por tanto, ¿podríamos afirmar que el cambio climático es un problema de salud?

—El calentamiento global es un atentado a la salud pública. Pero es importante huir de una visión apocalíptica y dejar de centrarnos solo en sus consecuencias negativas. Éstas ya están descritas por la ciencia y las estamos viviendo muy de cerca. Es algo que nadie puede poner en duda. Pero con independencia de ello, ¿quién puede estar en contra de la importancia que tiene que el agua que bebemos no esté contaminada? No nos beneficia tomarla llena de residuos plásticos o de metales pesados. ¿Quién va a decir que respirar aire contaminado es bueno? Tomar medidas para mitigar el cambio climático es un gran tratado de salud pública y la mejor política que podemos poner en marcha para salvar vidas.



Intervención en la OMS durante la pandemia de la Covid 19

—¿En qué áreas podemos evitar más muertes con una buena política ambiental?

—Cualquier política que se ponga en marcha para luchar contra el cambio climático tiene un beneficio, más grande o más pequeño, para la salud. Si ponemos en marcha una política energética de uso de combustibles renovables o energía limpia, ayudará a evitar 7 millones de muertes anuales. Solo con eso ya sería una razón más que suficiente para hacerlo. Lo mismo con medidas que fomenten una movilidad sostenible o modificaciones en la dieta. Los factores de riesgo ambientales representan un 25 % de la morbilidad, es decir, de qué enfermamos y de qué morimos.

### La Covid ha provocado menos mortandad en las ciudades menos contaminadas



María Neira trabajó durante muchos años en países en desarrollo

—¿Cuáles son esos factores ambientales?

—La falta de acceso al agua potable y al saneamiento son responsables de muchas enfermedades diarreicas y epidémicas que se cobran muchas vidas todos los años. También la exposición a sustancias químicas como los pesticidas, fertilizantes o la basura electrónica y, por supuesto, la contaminación del aire. Todo ello agravado por el calentamiento global.

—La lucha contra la contaminación atmosférica es uno de los grandes caballos de batalla de la OMS. ¿Nos hemos acostumbrado a esa elevada cifra de muertes?

—Estamos hablando de siete millones de fallecidos al año. Con esa cifra sería de esperar que hubiera una urgencia a nivel global y que todos los países tomaran medidas. Sin embargo, no acabamos de ver esa respuesta proporcional a la magnitud del problema. Y lo mismo con las muertes por tabaco. Pero además de los fallecidos, se producen muchas hospitalizaciones por enfermedades crónicas que, además del coste individual del sufrimiento de la persona, tienen un importante coste económico para la sociedad. Esto es algo que no se incluye cuando se calcula el beneficio que pueden generar los impuestos al tabaco o a los combustibles fósiles. No se incluye el precio que cuesta mantener unos hospitales que van a curar enfermedades causadas por ellos. Hay una irracionalidad en esto muy importante. El gasto en salud duplica a los beneficios, el sistema sanitario tiene que cubrir unos costes que alcanzan a nivel global los 5 trillones de dólares al año.

—¿Pudo influir en la pandemia de la Covid-19?

—Empezamos a tener cada vez más evidencia comparando los mapas de contaminación atmosférica en distintas ciudades y la afectación por Covid en cuanto al número de casos y fallecidos. En aquellas ciudades menos contaminadas la mortalidad ha sido más baja. La relación causa-efecto nunca es directa, hay otros factores, pero es evidente que hay influencia, pues existe un factor de riesgo importante: los pulmones que han estado expuestos a la contaminación son más vulnerables a cualquier enfermedad respiratoria.

—¿Le preocupa más la situación en Europa o en los países en desarrollo?

—El 90 % de la población global respira aire que no cumple la normativa propuesta por la OMS: hablamos de un asesino invisible; pero no es lo mismo en Suiza, que está un 20 % por encima de los niveles máximos de contaminación recomendados que Nueva Delhi, donde este índice puede superarse 400 veces y supone todo un atentado

contra la salud. A pesar de que existen unos parámetros, lo cierto es que cuando hablamos de contaminación del aire no deberíamos aceptar niveles seguros. En Europa la situación es mejor, pero es inaceptable que todavía tengamos 400 000 muertos cada año en países tan avanzados como los nuestros debido a la mala calidad del aire. Tenemos que dar ejemplo para proteger a nuestra población con una política responsable y ayudar a los países en desarrollo a no cometer los mismos errores que cometimos con el acceso a combustibles muy contaminantes.

—Reclama la necesidad de un pacto global por la calidad del aire. ¿Es posible?

—No mientras se sigan financiando los combustibles fósiles. Es un dinero que se destina a atentar contra la salud y será responsable de enfermedades y muertes. Cuanto más aceleremos la transición hacia energías limpias y renovables más protegeremos la salud. En las Cumbres del Clima deberíamos poner encima de la mesa cuántos muertos estamos dispuestos a aceptar hasta que no se tomen otro tipo de decisiones. La situación es más preocupante que nunca y cuando parecía que las negociaciones sobre combustibles fósiles ya iban en el buen camino, lo que está pasando en Ucrania ha replanteado todo. Ya hemos sido excesivamente lentos y permisivos, los combustibles fósiles tienen que seguir siendo lo que son: fósiles.

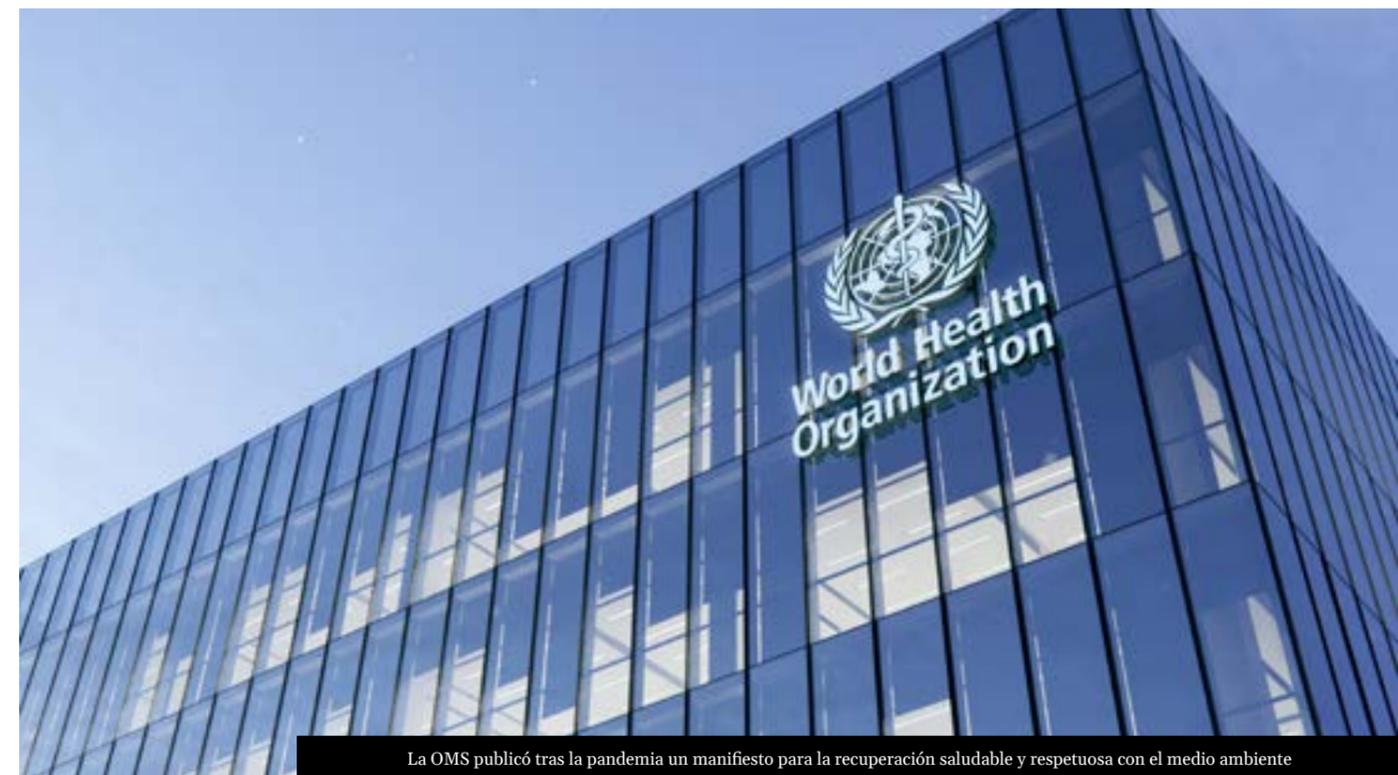
### España puede ejercer un importante liderazgo en transición energética y salud pública global

—Cambiar la situación exige decisión política y mantenerse firme ante muchos intereses...

—Volvemos al cómo se contaron las cosas, un discurso en el que se coló una politización mal entendida y defensa del medio ambiente se atribuyó al activismo de izquierdas. Tenemos que entender que, al margen del discurso político, la crisis climática es una cuestión de salud. Si no entendemos eso, nos equivocaremos todos. Y los políticos no pueden solo denunciar como si fueran activistas: tienen que actuar! Ningún país que haya destruido su medio ambiente tendrá una economía que le permita avanzar.

—En España se ha puesto en marcha el Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente (PESMA): ¿Qué le parece?

—España puede tener un liderazgo importante en la transición energética y es importante que vaya acompañada de una demostración del beneficio que supone para la salud. Se han dado grandes pasos, pero tenemos que ser aún más ambiciosos. No se trata de poner en marcha un plan, sino dotarlo de recursos. El Ministerio



La OMS publicó tras la pandemia un manifiesto para la recuperación saludable y respetuosa con el medio ambiente

de Transición Ecológica y el de Sanidad están llamados a hacer grandes cosas juntos y un argumento cuyo eje sea la salud impulsará las políticas medio ambientales que ya están implementadas y también a las que se quieran poner en marcha a futuro. Éste es el 'win-to-win' de una buena política energética.

—Antes ha comentado que el cambio climático ya no se puede poner en duda. La evidencia científica está clara, pero luego hay que traducirla a políticas de salud pública...

—Los médicos y la profesión sanitaria en general cada vez están más concienciados de esa relación. A un niño asmático se le puede dar un tratamiento y mandarlo a su casa sabiendo que es una zona contaminada y que le va a provocar nuevos ataques. Pero como médico también se puede aconsejar que no viva ahí, o hablar con el alcalde para ver cómo se puede reducir esa contaminación que genera que atienda a numerosos casos de asma. En este sentido hago un llamamiento a toda la profesión sanitaria para que cada vez seamos más nosotros quienes alcemos la voz y dejemos claro que lo que es bueno para el medio ambiente es bueno para la salud, y que ésta no puede protegerse en un ambiente totalmente contaminado. Tenemos que convertirnos en 'greendoctors'.

—Dice que los médicos hablen con los alcaldes...

—Los alcaldes son 'ministros de salud' que pueden hacer grandes cosas con políticas sectoriales, tomando decisiones en sus territorios y tenemos que proporcionarles herramientas para decidir qué intervenciones pueden ser necesarias, cómo medir los beneficios para la salud y cómo comunicarlos a los ciudadanos. Pueden hacer transformaciones increíbles con determinación y voluntad política.

—Menciona las transformaciones... ¿urgen en las ciudades?

—Las políticas en favor de ciudades sostenibles generan múltiples beneficios. Las urbes tienen que replanificarse pensando en la salud de sus habitantes. Para ello es fundamental un transporte público sostenible y limpio, sacar los coches de los centros urbanos, una mejor gestión de los residuos municipales, viviendas eficientes y evitar la superpoblación. Invito a la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP) a que tomen el tema como prioritario, porque ya es un movimiento irreversible.



**Necesitamos una revolución sanitaria positiva basada en el concepto 'One Health', gestionar sentido común, lógica y racionalidad agrícola y ganadera**

—Hablemos de virus... ¿La pandemia ha sido una advertencia?

—Convivimos con virus desde siempre, pero no debemos desestabilizar y destruir el equilibrio existente. Tenemos que entender y trabajar en el concepto 'One Health': mantener en armonía la barrera entre la salud humana, la salud animal y la salud ambiental. Nuestra mejor barrera para defender la salud, incluidos virus emergentes, es la protección de la naturaleza. Todo lo que podamos hacer para que el medio ambiente trabaje a nuestro favor será una barrera de prevención. El 70 % de los brotes epidémicos ha comenzado con la deforestación y enfermedades como el ébola, el VIH o el SARS ya han demostrado qué ocurre cuando traspasamos esas barreras: siempre saldrá perdiendo la salud humana.

—Gran parte de esa deforestación es para mantener el actual sistema alimentario, ¿es insostenible?

—Es un sistema perverso que tenemos que revisar para producir alimentos sostenibles de principio a fin. Realizamos una agricultura intensiva, con fertilizantes, que consume grandes cantidades de agua y un tercio de los alimentos acaban en la basura. Es una incoherencia y algo inaceptable.

—¿Debemos reducir el consumo de carne para frenar el cambio climático?

—Tenemos un consumo muy alto de carne que tendríamos que, si no eliminar, sí reducir; y debemos ser conscientes de cómo se generan los alimentos, de cómo son las granjas, las repercusiones de la producción intensiva... Así podremos adoptar decisiones informadas.

—¿En esta cuestión parece que las nuevas generaciones son más implacables!

—Las nuevas generaciones quieren saber de dónde vienen los alimentos, si tienen contaminantes, aditivos, cómo se producen... Están concienciados con fomentar una mejor salud. Es una generación que recicla, que tiene conciencia del bienestar animal o del impacto del plástico en los océanos. Hay que ayudar a esta generación a que no esté solo frustrada manifestándose en las calles contra el cambio climático, sino a que sean los mejores transformadores, aunando el conocimiento más tradicional con la ciencia y la tecnología que tenemos ahora, y hacerlo mucho mejor que lo que lo hemos hecho nosotros.

—Parece que mantiene la esperanza...

—En nuestras manos está todavía frenar el impacto de esta crisis. Si un país apuesta por renovables contaminará menos y habrá menos casos de asma, pero como ciudada-

nos también podemos decidir que dejamos de usar el coche o consumir más alimentos ecológicos. Hay que hablar de cambio climático, pero hacerlo en positivo y destacar lo bueno que tiene para la salud tomar medidas a nivel global y personal. Todavía tenemos posibilidades.

♦ Charo Barroso



La directora de Salud y Medio Ambiente de la OMS considera vital la eliminación de los combustibles fósiles



# Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente

**Marta Gómez Palenque**

Directora de Calidad y Evaluación Ambiental MITERD

*El PESMA es una herramienta de gestión adaptada a un entorno en permanente evolución adecuada para afrontar desde el punto de vista de la salud humana los grandes desafíos ambientales de nuestro tiempo*

La salud y medio ambiente son dos caras de una misma moneda y constituyen dos elementos centrales de una problemática que hemos de abordar de manera integrada. Si bien se lleva años trabajando en estas materias, la crisis sanitaria provocada por la Covid-19 ha puesto de manifiesto tanto la relevancia del cuidado de los equilibrios en nuestra relación con los ecosistemas para fortalecer nuestra resiliencia, nuestra salud global y las bases de la seguridad y prosperidad futuras como la importancia de disponer de instrumentos que nos permitan hacer frente a riesgos e impactos sobre la salud vinculados al cambio climático o al deterioro de las condiciones del entorno (aire, agua, suelo...)

La integración de los condicionantes ambientales y de la vulnerabilidad climática es clave en la definición de políticas públicas y en la toma de decisiones en diferentes sectores, destacando el de la Salud. Así, el Ministerio de Sanidad, en coordinación con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, ha elaborado y puesto en marcha un Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente (PESMA) destinado a proteger la salud de la población de los riesgos medioambientales. El plan, que estará vigente hasta 2026, fue aprobado en noviembre de 2021 en la sesión extraordinaria del Pleno del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud conjunta con la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente.



Las ministras Ribera y Darías durante la presentación del PESMA en noviembre de 2021 © MITERD

### La integración de los condicionantes ambientales y de la vulnerabilidad climática es clave en la definición de políticas públicas

El compromiso de elaborar este plan ya se recogía en la Declaración de Emergencia Climática realizada por el Gobierno de España en 2020, sumándose a otras medidas en materia ambiental que tienen vocación de lograr un entorno saludable para los ciudadanos. Sólo por mencionar algunas de ellas, citamos el Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica de España, un programa que es coherente con la planificación en energía y clima y que busca aprovechar al máximo las sinergias con estas políticas y maximizar sus co-beneficios en términos de salud; o el Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, que dará cobertura jurídica al plan marco de acción a corto plazo aprobado por la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente, en su reunión de 9 julio de 2021, en el que se establecieron nuevos umbrales de contaminación que no se recogían en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, entre otras medidas acordadas. El PESMA es fruto de la integración de conocimientos, recomendaciones y experiencia de expertos en salud pública y

medioambiente, elaborado con una óptica multidisciplinar en un momento particularmente crítico debido a la crisis sanitaria provocada por la Covid-19, pero sin olvidar la crisis ambiental. Responde a diversas iniciativas nacionales e internacionales tales como el VII Programa de Medio Ambiente, Directivas y Reglamentos (productos químicos, aguas, etc.) y demás legislación europea sobre salud y ambiente, Conferencia de Ostrava, 13º Programa General de Trabajo de la OMS (2019-2023), Europa 2020, Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015), el Pacto Verde Europeo (2019), el Acuerdo de París sobre cambio climático (2015), la Estrategia de sostenibilidad de la UE para las sustancias químicas (2020) y la estrategia de la UE sobre la Biodiversidad hasta 2030 (2020).

### En Europa, el ruido es el segundo factor de estrés ambiental más dañino

Asimismo, se enmarca en la Estrategia de Salud recogida en la Ley 33/2011 de Salud Pública y que viene amparada por el artículo 43 de la Constitución, que reconoce el derecho a la protección de la salud. Este proyecto permite a España avanzar en el cumplimiento de los compromisos adquiridos de la Unión Europea y la OMS: “Centrado en promover entornos saludables para



Los residuos y la contaminación industrial son uno de los factores en que más incide el PESMA

la población, reducir la carga de enfermedades e identificar nuevas amenazas para la salud derivadas de factores ambientales, con un enfoque global basado en la ciencia y perdurable en el tiempo, el PESMA permitirá crear un marco de referencia dinámico y adaptado a un entorno en permanente evolución para las de las políticas públicas venideras”.

### Estructura del PESMA

El contenido del plan se divide en dos partes principales: un documento técnico que sirve de elemento conductor y un documento estratégico que aporta el marco ejecutivo. En el primer documento han trabajado expertos nacionales de primer nivel identificando las principales áreas temáticas que tienen un mayor impacto sobre la salud pública, realizando una evaluación del riesgo y sugiriendo unas líneas de intervención dentro de cada tema para lograr los objetivos prioritarios. A partir de este documento se ha definido el segundo de ellos, el documento estratégico, que define los aspectos clave del plan, las directrices y líneas de intervención a seguir hasta 2030. Se articula en torno a los ejes transversales de Equidad, Enfoque de género, Transparencia y rendición de cuentas y Sostenibili-



La producción de alimentos ecológicos puede jugar un papel clave para que los sistemas alimentarios sean justos, saludables y respetuosos con el medio ambiente

lidad y Salud en todas las Políticas. En todo el contenido, tiene el enfoque ‘One Health’ de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que señala que la salud humana está íntimamente conectada con la salud del planeta, de todos los seres vivos, los ecosistemas, el medio ambiente común y los impulsores sistémicos pertinentes.



En mares y ríos, la contaminación por plástico y otros elementos incide en nuestra salud a través de la ingestión de pescado

### El PESMA promueve entornos saludables para reducir la carga de enfermedades e identificar nuevas amenazas ambientales para la salud

El Plan contempla 14 áreas temáticas en las que trabajar tratando de abordar los factores de riesgo ambientales con mayor impacto en la salud. Desde la perspectiva medioambiental se han definido las siguientes cuatro áreas temáticas que presentan riesgos para la salud:

1. Cambio climático y salud: riesgos del clima, temperaturas extremas, calidad del aire, calidad del agua y vectores transmisores de enfermedades.
2. Contaminación: productos químicos, residuos, y contaminación industrial.
3. Radiaciones: radiactividad natural, campos electromagnéticos y radiación ultravioleta.
4. Hábitat y salud: ruido ambiental y vibraciones, calidad de ambientes interiores y ciudades saludables.

Para la implementación del plan, se elaborarán programas de Actuación bienales, con las acciones prioritarias a desarrollar en ese plazo de ejecución y con la detallada intervención de los agentes ejecutores. Éstos especifi-

carán plazos, recursos y demás detalles necesarios para una correcta ejecución. Dentro de las acciones destacan aquellas encaminadas a la creación de sistemas de vigilancia para el efecto de la contaminación atmosférica en la salud, la identificación de factores ambientales vinculados al desarrollo de enfermedades zoonóticas, y transmitidas por vectores, o la medición de los efectos de la contaminación acústica.

El primer programa de actuaciones del PESMA ha sido Aprobado por la Comisión de Salud Pública del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud, el 22 de septiembre de 2022. Este Primer Programa recoge las actuaciones iniciales a acometer con el objetivo de prevenir, adaptarse y controlar los efectos de los factores ambientales sobre la salud. Un total de 43 actuaciones distribuidas entre las diferentes áreas temáticas que integran el PESMA y 3 que aplican de manera transversal a todas ellas. Así, se han definido nueve actuaciones en el área de Calidad del Agua, ocho actuaciones en el área Calidad del Aire, cinco actuaciones en el área de Campos Electromagnéticos, cuatro actuaciones en el área Riesgos del Clima, tres actuaciones en el área de Productos Químicos, dos actuaciones en las áreas de Temperaturas Extremas, Vectores transmisores de enfermedades y Ciudades Saludables y, finalmente, una actuación en las áreas de Residuos, Radiactividad Natural y Calidad de Ambientes Interiores .

### El desarrollo de determinadas actuaciones puede implicar la creación de grupos de trabajo temáticos, conformados por expertos en las áreas específicas de trabajo a tratar

Mediante el desarrollo de las actuaciones propuestas, se llevarán a cabo diferentes acciones recogidas en el PESMA, cumpliendo así con los objetivos establecidos en el mismo. Los resultados obtenidos servirán de base para posteriores iniciativas y proporcionarán información para dinamizar los procesos participativos de los principales implicados en cada sector para definir las opciones de reducción de riesgos a la salud pública.

### Necesario cambio de paradigma: enfoque 'One Health'

El Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente sitúa a España en la orientación correcta, dirigiéndonos hacia un cambio de paradigma que nos permita hacer frente a la situación de emergencia climática y ambiental



En Europa, el ruido es el segundo factor de estrés ambiental más dañino



Los riesgos asociados a las zoonosis, como el virus del SARS CoV2 se acentúan por la presión humana en los ecosistemas

que estamos viviendo con la vista puesta, también, en la salud pública. Es evidente que muchos de los retos ambientales a los que nos enfrentamos están incidiendo en la salud de los ciudadanos. Debemos tener en cuenta que la Organización Mundial de la Salud estima que entre 2030 y 2050 se registrarán alrededor de 250 000 muertes adicionales al año resultado de enfermedades ligadas a la alteración climática.

### La mayoría de españoles afirman que el ruido y la contaminación afecta negativamente a su vida

Por otra parte, la exposición a productos químicos nocivos, productos que son cotidianos en nuestras vidas, presentes en el 98 % de las actividades, supone también una amenaza relevante para nuestra salud, pudiendo provocar desde afecciones respiratorias a reacciones alérgicas, alteraciones hormonales o riesgo de cáncer. Muchos de estos productos son fundamentales para

garantizar nuestro bienestar y proteger nuestra salud y seguridad, pero es imprescindible también abordar las consecuencias negativas para la salud o el medio ambiente que puede comportar la sobreexposición a ciertas sustancias químicas que estos productos contienen.

Otro factor de gran relevancia para el medio ambiente y la salud es la calidad del agua, amenazada por contaminantes emergentes (patógenos o químicos), por el uso creciente de múltiples productos químicos que terminan en el ciclo del agua. Más allá de la conocida contaminación por residuos plásticos, en nuestros ríos y mares encontramos contaminación procedente de medicamentos y productos de cuidado personal, ingredientes de productos de consumo, materiales de las tuberías de distribución, nano-partículas y microplásticos, subproductos de desinfección y otros productos

### El Gobierno presentó el plan hace un año con el objetivo de proteger a la población de los riesgos medioambientales

de transformación y que pueden actuar como alteradores endocrinos, incidiendo en nuestra salud a través del agua que bebemos y con la que regamos nuestros campos o cultivamos especies piscícolas.

De igual forma, la contaminación acústica, muy acusada en grandes ciudades, tiene efectos perjudiciales para la salud (trastornos fisiológicos y psicológicos que provocan disfunciones en la vida cotidiana y laboral). En Europa, el ruido es el segundo factor de estrés ambiental más dañino; y en España, el 76 % de la población afirma que la contaminación acústica afecta a su vida de forma significativa (Estudio del Ruido, ECODES, 2018).

Finalmente, no podemos olvidar que, tanto el Convenio de Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica como la Or-

ganización Mundial de la Salud han reconocido la interrelación que existe entre la biodiversidad y la salud humana. Los riesgos asociados a las zoonosis (como el virus SARS-CoV-2) se acentúan por la presión humana sobre el hábitat de determinadas especies y la pérdida de la función protectora que ejercen ecosistemas ricos en biodiversidad. Por todo ello, es imprescindible dotarnos de herramientas como el Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente. Un medio ambiente sano constituye la base insustituible de nuestra salud y nuestra calidad de vida. 🌿

### Más información:

[Plan Nacional de Salud y Medio Ambiente \(sanidad.gob.es\)](https://sanidad.gob.es)

[Planes y estrategias por áreas de actividad \(miteco.gob.es\)](https://miteco.gob.es)

### Notas

- 1 Pendiente de su aprobación por la Comisión de Salud Pública



La Alianza Energía y Territorio pide una transición justa que mida el impacto en los territorios y la biodiversidad



Los contaminantes emergentes patógenos o químicos amenazan la calidad de las aguas de consumo

# La importancia del concepto One Health

Israel Cruz

Escuela Nacional de Sanidad, Instituto de Salud Carlos III, CIBERINFEC

El estudio de la relación causal entre las enfermedades humanas y el medio ambiente se ha abordado desde antiguo. Hipócrates (460 a.C. – 370 a.C.) en su tratado *Sobre aires, aguas y lugares* discute cómo el medio ambiente es un factor importante para la salud y bienestar de la población. <sup>(1)</sup> A Rudolf Virchow (1821 - 1922), padre de la patología moderna y activista de la salud pública, se le atribuye la creación del término ‘zoonosis’ (infección o enfermedad que se transmite de los animales a las personas), así como la idea de que

entre la medicina animal y la humana no hay líneas divisorias, ni debería haberlas. <sup>(2)</sup> Y desde hace más de un siglo ‘*Hygia pecoris, salus populi*: la higiene del ganado, la salud del pueblo’ viene siendo el lema de agrupaciones profesionales y facultades de veterinaria en España. <sup>(3)</sup>

**Más del 60 % de los patógenos que causan enfermedad en las personas son zoonóticos, o fueron zoonosis en origen**

Nuestra interacción con el medioambiente tiene implicaciones para la salud en un sentido muy amplio, pero quizás el que más tratamos y conocemos es el relacionado con las enfermedades infecciosas. Estas ocurren en un marco de transmisión que implica: 1) un hospedador, ya sea humano u otros animales y/o vectores artrópodos; 2) un ambiente, con sus componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y 3) los patógenos. Estos tres elementos se relacionarán siguiendo distintos patrones de exposición y susceptibilidad. <sup>(4)</sup>

## Enfermedades emergentes y el interfaz humano-animal-ecosistema

Se calcula que más del 60 % de los patógenos que causan enfermedad en las personas son zoonóticos, o fueron zoonosis en origen. Y que más del 70 % de los patógenos emergentes provienen de los animales. En este contexto hablamos con frecuencia de enfermedades emergentes, reemergentes, con potencial epidémico, y se trata de enfermedades cuya incidencia ha aumentado en las últimas dos décadas o amenaza con hacerlo en un futuro próximo. Son enfermedades que trascienden fronteras y desafían los esfuerzos de contención y de protección de los trabajadores de salud, y para las que las recomendaciones de prevención y control podrían no estar disponibles.

Esta emergencia está propiciada por cambios en el uso de la tierra y en el manejo y explotación de los animales, así como en la variabilidad del clima. Y otros cambios, asociados o no, que dan lugar a alteraciones en los hábitats, los patrones de migración y desplazamientos, y el acceso a recursos como el agua y los alimentos. Estos factores, asociados a un crecimiento poblacional, propician el contacto entre especies y aumentan el rango de expansión de los patógenos.



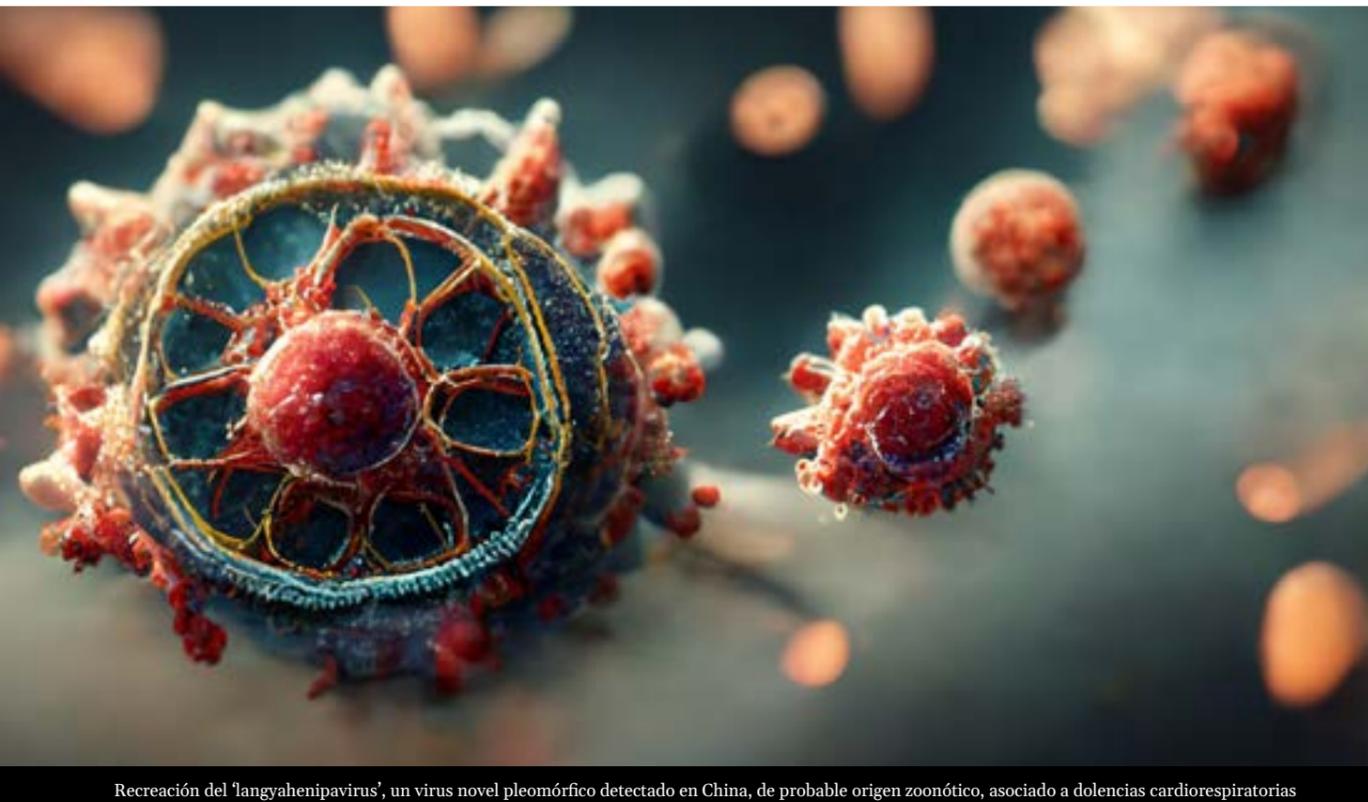
Las enfermedades emergentes deben preocuparnos, además, por su impacto en la economía local y global, consecuencia de la respuesta sanitaria y de salud pública, la disminución de turismo y viajes, las estrategias reactivas de control de animales (p.ej. sacrificio y compensación), las ausencias de la fuerza laboral, y las restricciones comerciales.

Existe un amplio número de patógenos emergentes con potencial epidémico, pero los recursos para estudiarlos y desarrollar estrategias para su control son limitados. En un esfuerzo de priorización de recursos de I+D en contextos de emergencias de salud pública (*R&D Blueprint*), la Organización Mundial de la Salud (OMS) identifica una serie de enfermedades que representan el mayor riesgo para la salud pública debido a su potencial epidémico y/o para las que no hay medidas de control suficientes.<sup>(5)</sup> En un inicio, las enfermedades incluidas en esta lista eran ébola, fiebre Lassa, fiebre hemorrágica Crimea-Congo, MERS, SARS, enfermedades causadas por nipah y henipavirus, fiebre del Valle del Rift, zika, y *enfermedad X*. Con *enfermedad X* se representaba el conocimiento de que una epidemia internacional grave podría ser causada por un patógeno del que actualmente se desconoce que cause enfermedad en humanos. Posteriormente se añadió la Covid-19 a la lista, y se sigue manteniendo la *enfermedad X*.<sup>(6)</sup>

Mientras tanto un nuevo henipavirus (langyahenipavirus), recientemente identificado y de probable origen animal, se asocia a enfermedad febril y respiratoria en el este de China.<sup>(7)</sup> ¿Qué tienen en común todas las enfermedades de esta lista prioritaria de la OMS?: todas son causadas por virus y son de origen zoonótico.

### La pandemia silenciosa, la pandemia ignorada

Se estima que unas 700 000 personas mueren cada año en el mundo como consecuencia de infecciones causadas por patógenos resistentes a los antibióticos. Esta cifra podría llegar a los 10 millones de personas en el año 2050, superando a las muertes por cáncer.<sup>(8)</sup> Este problema constituye un reto formidable para la salud global y una amenaza para los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), particularmente en los países con menos recursos. Una menor capacidad para tratar las enfermedades infecciosas hará que aumente la pobreza en poblaciones más vulnerables (ODS 1). Esto tendrá como consecuencia una disminución de la productividad agrícola y ganadera, impidiendo una alimentación y nutrición correctas (ODS 2). La salud de la población empeoraría (ODS 3), afectando a la fuerza laboral y el crecimiento económico (ODS 8), aumentando las desigualdades (ODS 10).



Recreación del 'langyahenipavirus', un virus novel pleomórfico detectado en China, de probable origen zoonótico, asociado a dolencias cardiorespiratorias



Bacterias agrupadas en una 'biofilm', una comunidad donde adquieren resistencia a los antibióticos y se comunican entre sí mediante autoinductores o moléculas de detección de quorum

### Hay numerosos patógenos emergentes con potencial epidémico, pero los recursos para estudiarlos y controlarlos son limitados

A escala global la resistencia a antibióticos es un problema que debe abordarse en el interfaz humano-animal-ecosistema, y entender su relación con el acceso al agua limpia y saneamiento (ODS 6) y la integridad de los ecosistemas (ODS 14, ODS 15). La resistencia a antibióticos es inherente a la fisiología de los microorganismos, y los genes encargados de la misma pueden transmitirse entre microorganismos de distintas especies. La presión que ejerce sobre estos el mal uso de los antimicrobianos y la sobre-exposición a sustancias antibióticas en el ambiente favorece la selección de microorganismos resistentes. Las rutas de propagación de la resistencia a antibióticos son complejas e incluyen, entre otras: el abuso y mal uso de antimicrobianos a nivel humano, animal y ambiental y el manejo deficiente de aguas residuales y residuos biológicos. Por ello este es un problema que requiere un abordaje multisectorial.<sup>(9,10)</sup>

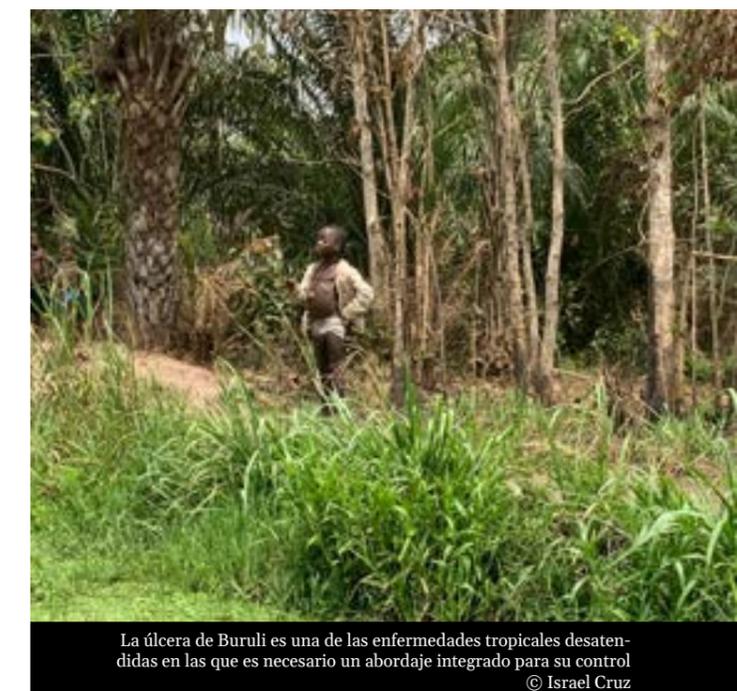
### One Health — Una Sola Salud

La idea de One Health surge como un enfoque integrador y unificador que tiene como objetivo equilibrar y optimizar, de manera sostenible, la salud de los humanos, los animales y los ecosistemas. Con este enfoque se reconoce que la salud de las personas, los animales domésticos y salvajes, las plantas y los ecosistemas en que estos interactúan están estrechamente vinculados y son interdependientes.

Este enfoque debe movilizar múltiples sectores, disciplinas y comunidades en diferentes niveles de la so-

ciudad, que trabajarían coordinados para fomentar el bienestar y abordar las amenazas a la salud y los ecosistemas, y la necesidad colectiva de agua, energía y aire limpios, y alimentos seguros y nutritivos, tomando medidas sobre el cambio climático y la contribución al desarrollo sostenible.

Si bien este tipo de enfoques se vienen aplicando desde hace mucho tiempo, la idea de One Health adquiere mayor relevancia con la consolidación, durante la segunda década de este siglo, de la alianza tripartita entre la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y la OMS. Alianza que nace con el objetivo de promover la cooperación multisectorial para poder prevenir, detectar, contener, eliminar y responder a riesgos para la salud humana y animal atribuibles



La úlcera de Buruli es una de las enfermedades tropicales desatendidas en las que es necesario un abordaje integrado para su control © Israel Cruz

<b>Equidad</b>	Entre sectores y disciplinas
<b>Paridad sociopolítica y multicultural</b>	Todas las personas son iguales y merecen los mismos derechos y oportunidades. Inclusión y compromiso de las comunidades y las voces marginadas.
<b>Equilibrio socio-ecológico</b>	Equilibrio armonioso en la interacción humano-animal-medio ambiente. Reconocimiento de la importancia de la biodiversidad. Acceso a suficiente espacio y recursos naturales. Valor intrínseco de todos los seres vivos dentro del ecosistema.
<b>Administración y responsabilidad</b>	De los seres humanos para cambiar el comportamiento y adoptar soluciones sostenibles. Reconociendo la importancia del bienestar animal y la integridad de todo el ecosistema. Asegurando el bienestar de las generaciones actuales y futuras.
<b>Transdisciplinariedad y colaboración multisectorial</b>	Incluye todas las disciplinas pertinentes, formas de conocimiento tanto modernas como tradicionales y una amplia gama de perspectivas.

a zoonosis y enfermedades en animales con impacto en la seguridad (inocuidad) alimentaria. Mediante esta alianza las tres organizaciones coordinarían esfuerzos relacionados con: 1) la planificación estratégica y preparación para emergencias, 2) investigación, vigilancia y respuesta coordinada a enfermedades, 3) evaluación, reducción y comunicación de riesgos, de enfermedades zoonóticas y 4) capacitación de profesionales. <sup>[11]</sup>

En el año 2022 la alianza se amplía para incluir al Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). Así, las cuatro organizaciones se comprometen a cooperar para combatir los riesgos para la salud en el interfaz humano-animal-ecosistema en el contexto del enfoque One Health e incluyendo la resistencia a antimicrobianos. Un aspecto importante de esta alianza ampliada es la creación de un Panel de Expertos de Alto Nivel, que apoyarían cuatro grupos de trabajo en las áreas de:

- Implementación de estrategias One Health.
- Realizar un inventario del conocimiento en prevención de zoonosis emergentes.
- Vigilancia, detección temprana intercambio rápido de información.
- Factores relacionados con la transmisión y propagación de enfermedades.

La alianza cuadripartita ha contribuido también a afinar la definición de One Health, estableciendo cinco principios fundamentales (Tabla 1). <sup>(12, 13, 14)</sup>

**Para el año 2050, los mosquitos transmisores de enfermedades serán capaces de infectar a medio millón de personas más que en la actualidad**



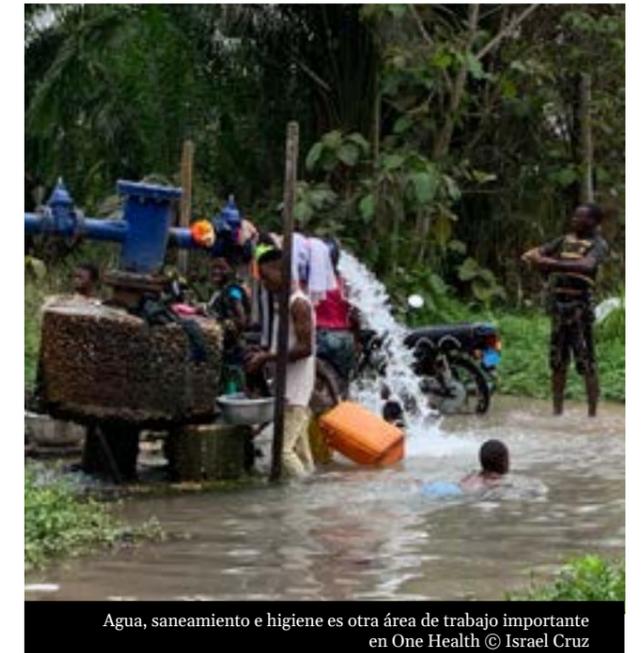
*Aedes albopictus* es vector de virus causantes de enfermedades de gran importancia en salud pública a nivel global como el dengue, chikungunya y Zika. © CDC

## Aplicando el enfoque One Health

La alianza entre FAO, OIE, OMS y UNEP proporciona el marco legal y formal para que estas organizaciones aborden los retos de salud humana, animal y ambiental utilizando una aproximación más coordinada e integrada. El objetivo, además, es reforzar los sistemas y servicios de salud regionales y nacionales, proporcionando a ministerios y organismos nacionales buenas prácticas para la preparación, prevención, detección y respuesta relacionadas con amenazas de origen zoonótico. La alianza propone tres pilares clave que englobarían las distintas acciones dirigidas a implementar estrategias One Health.

– El primer pilar consistiría en acelerar acciones programáticas, integrando la filosofía One Health en el diseño e implementación de programas. En este pilar las acciones estarían relacionadas con:

- El progreso técnico: generar base de evidencia y orientar sobre intervenciones integradas.
- La estrategia y prestación de servicios, como la vigilancia y evaluación conjunta de riesgos.
- Habilitación de vías de financiación integradas, colaboración en incidencia política y acción multisectorial.



Agua, saneamiento e higiene es otra área de trabajo importante en One Health © Israel Cruz

– El segundo pilar promueve la intensificación de los enfoques transversales, coordinando e integrando acciones en sectores clave. Para ello, las acciones necesarias irían dirigidas a:

- Utilizar plataformas comunes que integren el trabajo sobre enfermedades humanas y animales, mejorando la calidad de las intervenciones.



Cada vez hay más evidencia científica de que la deforestación, y la sustitución de la selva por palma, favorecen las condiciones para la emergencia de patógenos



La degradación de la tierra, la pérdida de biodiversidad y la desertificación son características del antropoceno

- Coordinar con otros sectores fuera del ámbito de la salud.
- Y el último pilar incide sobre el cambio en los modelos operativos para asegurar la sostenibilidad. En este caso debe existir:
  - Apropiación a nivel nacional y sub-nacional que permita dar respuesta a necesidades específicas de las poblaciones y de la agenda de seguridad sanitaria.

- Definición clara de las funciones de las partes implicadas, que permita gestionar prioridades contrapuestas, tanto entre sectores como entre naciones.
- Modelos operativos y de pensamiento alineados para lograr los objetivos de desarrollo sostenible.

### Salud y bienestar en el antropoceno

El término antropoceno designa las actividades de la humanidad que tienen repercusión en el clima y la biodiversidad, dando lugar a cambios biológicos y geofísicos a escala global.<sup>(15)</sup> Mientras que actualmente se abordan emergencias de salud global causadas por patógenos como el SARS-Cov-2 o el monkeypox, estos cambios globales hacen que las personas en todo el mundo se enfrenten a extremos cada vez mayores de calor, inundaciones, inseguridad alimentaria y de agua, conflictos y desestabilización política, deforestación, urbanización, migraciones, contaminación y patrones cambiantes de enfermedades infecciosas y crónicas. A menos que se tomen medidas urgentes, los impactos en la salud de la emergencia climática traerán más trastornos, amenazarán vidas y medios de subsistencia y comprometerán los sistemas de salud de los que dependemos.<sup>(16)</sup> Estos cambios globales y la emergencia de enfermedades infecciosas comparten factores comunes, siendo imperativo que estos fenómenos se aborden de manera integral, reconociendo las necesidades de salud pública, las desigualdades y las injusticias históricas.

Durante los últimos años, los investigadores en sistemas terrestres han indicado que la humanidad está incidiendo en una serie de riesgos sistémicos, como la acidificación de los océanos, el deshielo del permafrost y otras capas de hielo, la desertificación y el aumento del nivel del mar y, con ello, generando pérdidas de cosechas, desastres naturales, conflictos y migraciones, períodos de calor extremo, y también una probabilidad mucho mayor de saltos de patógenos de los animales al humano porque los hábitats naturales tienen mucha menos diversidad ecológica.<sup>(17)</sup>

### La estrategia global aumenta la colaboración interdisciplinaria para la salud de las personas, los animales y el medio ambiente

Los umbrales ecológicos que previenen epidemias han disminuido considerablemente también por la enorme deforestación,<sup>(18)</sup> siendo esta probablemente una de las razones por las que se han visto más epidemias de ébola en África occidental y central en los últimos años. La mayoría con origen en lugares donde las plantaciones de aceite de palma han reemplazado a la selva tropical. Esto haría más fácil que determinadas especies de murciélago portadoras del virus entren en contacto con animales y personas.<sup>(19,20)</sup> Asimismo, las prácticas de deforestación para la ganadería, como la cría de cerdos, pueden estar relacionadas con la aparición de infec-

ciones por el virus Nipah propiciadas por el cambio de hábitat de algunos murciélagos frugívoros<sup>[21, 22]</sup>. En un contexto similar pudo tener origen el virus SARS-CoV-2.<sup>(23, 24)</sup>

### Propagación de vectores artrópodos

El cambio climático y la globalización también favorecen la aparición y propagación de enfermedades transmitidas por vectores artrópodos, estimándose que la tendencia es que cada vez más lugares serán aptos para el establecimiento de estos vectores y que se extenderá la temporada de transmisión de las enfermedades. Un estudio reciente indica que, para el año 2050, los mosquitos transmisores de enfermedades serán capaces de infectar a medio millón de personas más que en la actualidad.<sup>(25)</sup> Una de estas enfermedades es el dengue que, de acuerdo a un informe de 2022 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), ampliará en un futuro su área de distribución geográfica en Asia, Europa, Centroamérica, Sudamérica y África sub-sahariana, con temporadas de transmisión más largas y poniendo en riesgo a más personas.<sup>(17)</sup>

Otros artrópodos vectores de interés en este contexto son las garrapatas, las cuales pueden transmitir una amplia diversidad de patógenos. El rango de expansión de estos vectores igualmente puede verse facilitado por unos inviernos más cálidos, consecuencia del calentamiento global.<sup>(26)</sup> El informe del IPCC de este año también indica que las garrapatas que portan el virus que causa la encefalitis transmitida por garrapatas se han propagado a las regiones sub-árticas del norte de Asia y Europa.<sup>(17)</sup>



El cambio climático provoca que cada vez más regiones sean aptas para el establecimiento de artrópodos alóctonos potenciales vectores de transmisión de patógenos emergentes © Eduardo Fernández

Otras enfermedades transmitidas por mosquitos, como el dengue, la fiebre del Nilo Occidental, la fiebre amarilla y el zika, o por flebotomos como la leishmaniasis podrían establecerse o aumentar su rango de distribución en Europa como consecuencia de cambios globales.<sup>(27,28,29,30)</sup> Por ejemplo, un informe reciente del Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades (ECDC) muestra que existe preocupación por un aumento de la incidencia de la leishmaniasis en la Unión Europea y países vecinos.<sup>(31)</sup> Otra llamada de atención al respecto es el aumento, en los últimos años, de casos de infección por el virus del Nilo Occidental en España, tanto en humanos como en equinos.<sup>(32)</sup> Los casos autóctonos esporádicos de dengue no son extraños en la última década, siendo Francia el país en que viene ocurriendo con mayor frecuencia.<sup>(33)</sup>

## One Health no trata solo de zoonosis

Si bien la emergencia de enfermedades infecciosas en el interfaz-humano-animal-ecosistema es un contexto fundamental en el que aplicar la estrategia One Health, no hay que olvidar otras situaciones. Como las enfermedades en los animales de consumo, que pueden afectar a los alimentos, medios de subsistencia y economía. El bienestar mental que pueden proporcionar los animales de compañía a las personas. O la contaminación del agua de consumo y recreo, que puede hacer enfermar a animales y personas. Reconocer estas conexiones nos permitirá vivir en un mundo más saludable para todos. ✿

## Referencias

1. Harvard (18th ed.) HIPPOCRATES. (1881). Hippocrates on airs, waters, and places. 'Ipparchou Ton 'Aratou Kai Eu'doxouPhainoménon 'exegéseos Biblia Tria. London, Printed by Wyman & Sons.
2. Klauder J. Interrelations of human and veterinary medicine. *N Eng J Med* 1958; 258: 170-77.
3. [www.colvet.es](http://www.colvet.es)
4. Sutherst RW. Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. *Clin Microbiol Rev.* 2004 Jan;17(1):136-73. doi: 10.1128/CMR.17.1.136-173.2004.
5. <https://www.who.int/teams/blueprint/>
6. <https://www.who.int/activities/prioritizing-diseases-for-research-and-development-in-emergency-contexts>
7. Zhang XA, Li H, Jiang FC, et al. A Zoonotic Henipavirus in Febrile Patients in China. *N Engl J Med.* 2022 Aug 4;387(5):470-472. doi: 10.1056/NEJMc2202705.
8. O'Neill J. Tackling drug-resistant infections globally: Final report and recommendations. London: HM Government and Wellcome Trust; 2016. Review on Antimicrobial Resistance,

chaired by Jim O'Neill. [https://amr-review.org/sites/default/files/160518\\_Final%20paper\\_with%20cover.pdf](https://amr-review.org/sites/default/files/160518_Final%20paper_with%20cover.pdf)

9. [www.reactgroup.org](http://www.reactgroup.org)
10. United Nations Environment Programme (2017). Frontiers 2017: emerging Issues of Environmental Concern. <https://webdocs.unep.org/20.500.11822/22255>
11. Adopción del enfoque multisectorial "Una Salud" – **Guía tripartita para hacer frente a las enfermedades zoonóticas** en los países. Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), 2019. <https://faor.org/3/ca2942es/CA2942ES.pdf>
12. <https://www.fao.org/3/cb9403en/cb9403en.pdf>
13. <https://www.who.int/groups/one-health-high-level-expert-panel/meetings-and-working-groups>
14. One Health High-Level Expert Panel (OHHLEP), adisasmito WB, Almuhairi S, Behravesh CB, Bilivogui P, Bukachi SA, et al. (2022) One Health: A new definition for a sustainable and healthy future. *PLoSPathog* 18(6): e1010537. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010537>
15. <https://es.unesco.org/courier/2018-2/antropoceno-problemativa-vital-debate-cientifico>
16. Hales, S., Edwards, S.J. and Kovats, R.S. (2003) Impacts on health of climate extremes. In: McMichael, A.J., et al., Eds., *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*, World Health Organization, Geneva, 79-102.
17. The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/>
18. Tollefson J. Why deforestation and extinctions make pandemics more likely. *Nature.* 2020 Aug;584(7820):175-176. doi: 10.1038/d41586-020-02341-1. PMID: 32770149.
19. Olivero J, Fa JE, Real R, et al. Recent loss of closed forests is associated with Ebola virus disease outbreaks. *Sci Rep.* 2017 Oct 30;7(1):14291. doi: 10.1038/s41598-017-14727-9
20. WHO 2015. Origins of the 2014 Ebola epidemic. <https://www.who.int/news-room/spotlight/one-year-into-the-ebola-epidemic/origins-of-the-2014-ebola-epidemic>.
21. Hauser N, Gushiken AC, Narayanan S, et al.. Evolution of Nipah Virus Infection: Past, Present, and Future Considerations. *Trop Med Infect Dis.* 2021 Feb 14;6(1):24. doi: 10.3390/tropical-med6010024.
22. World Organisation for Animal health. <https://www.oie.int/en/disease/nipah-virus/>

23. WHO-convened Global Study of Origins of SARS-CoV-2: China Part Joint WHO-China Study 14 January-10 February 2021 Joint Report <https://www.who.int/publications/i/item/who-convened-global-study-of-origins-of-sars-cov-2-china-part>
24. Ruiz-Aravena M, McKee C, Gamble A, et al. Ecology, evolution and spillover of coronaviruses from bats. *Nat Rev Microbiol.* 2021 Nov 19;1-16. doi: 10.1038/s41579-021-00652-2.
25. Ryan SJ, Carlson CJ, Mordecai EA, et al. Global expansion and redistribution of Aedes-borne virus transmission risk with climate change. *PLoS Negl Trop Dis.* 2019 Mar 28;13(3):e0007213. doi: 10.1371/journal.pntd.0007213.
26. Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, et al. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdiscip Perspect Infect Dis.* 2009;2009:593232. doi: 10.1155/2009/593232. Epub 2009 Jan 4.
27. Iwamura T, Guzman-Holst A, Murray KA. Accelerating invasion potential of disease vector *Aedes aegypti* under climate change. *Nat Commun* 11, 2130 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16010-4>
28. Watts MJ, Sarto I, Monteys V, et al. The rise of West Nile Virus in Southern and Southeastern Europe: A spatial-temporal analysis investigating the combined effects of climate, land use and economic changes. *One Health.* 2021 Aug 24;13:100315. doi: 10.1016/j.onehlt.2021.100315.
29. Semenza JC, Paz S. Climate change and infectious disease in Europe: Impact, projection and adaptation. *Lancet Reg Health Eur.* 2021 Oct;9:100230. doi: 10.1016/j.lanepe.2021.100230. Epub 2021 Oct 7.
30. Koch LK, Kochmann J, Klimpel S et al. Modeling the climatic suitability of leishmaniasis vector species in Europe. *Sci Rep* 7, 13325 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13822-1>.
31. Surveillance, prevention and control of leishmaniasis in the European Union and its neighbouring countries. Stockholm: ECDC; 2022. <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/leishmaniasis-surveillance-eu.pdf>
32. García San Miguel Rodríguez-Alarcón L, Fernández-Martínez B, Sierra Moros MJ, et al. Unprecedented increase of West Nile virus neuroinvasive disease, Spain, summer 2020. *Euro Surveill.* 2021 May;26(19):2002010. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2021.26.19.2002010.
33. <https://www.ecdc.europa.eu/en/dengue>



La salud ambiental es fundamental para la salud humana

# Retos actuales en contaminación atmosférica

Los contaminantes climáticos modifican el clima global e incrementan la intensidad de olas de calor

**Xavier Querol Carceller**

Profesor de Investigación

Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua del CSIC (IDAEA-CSIC)

Contaminación atmosférica es el proceso por el cual se cambia química (contaminantes gaseosos y partículas) o físicamente (ruido y radiaciones) la atmósfera por causas antropogénicas o naturales. Estos cambios pueden afectar al clima, la calidad del aire (y por tanto tener impacto en salud humana y ecosistemas), la disponibilidad de recursos, la durabilidad de materiales, y la visibilidad, entre otros.

Tenemos, pues, contaminantes que pueden modificar el clima, y otros que reducen la calidad del aire (algunos están en los dos grupos), y por tanto afectar directamente la salud humana y de los ecosistemas, al ser expuestos a los mismos. La mayor parte de los climáticos no afectan directamente a la salud humana y ecosistemas, pero si indirectamente por cambiar el clima e incrementar indirectamente

la frecuencia e intensidad de olas de calor, inundaciones, migraciones, especies invasoras y reducción de recursos, entre otros.

En contaminación atmosférica existen tres grandes problemas que están evolucionando de formas muy diferentes, a saber: el cambio climático, la calidad del aire exterior y la calidad del aire en los interiores (Querol, 2022). Además, los tres tienen retroalimentaciones que deben ser consideradas en sus respectivas políticas ambientales.

## Drástica transición a las renovables

En el caso del cambio climático, la evolución es sin duda inadecuada y parece que vamos hacia un calentamiento de, al menos, 2.7 °C en 2100, respecto a 1750, (IPCC,





2021); cuando el acuerdo de París pedía no superar 1.5°C (aunque ya anticipaba que ello no fuera posible, se recomendaba no superar 2.0°C). Además, el efecto de cambios de política energética derivados de la invasión de Ucrania sobre la evolución climática puede llegar incluso a empeorar el problema. En este escenario existe un sector, incluso científico, que considera que mejor invertir en adaptación. ¿Pero adaptarse a qué? No es adaptarse a los cambios climáticos actuales sino a unos que deben venir, y estos serán seguro mucho peor. En este campo, pues, **DEBEMOS**

### Gracias a las medidas adoptadas la calidad del aire ha mejorado mucho en las dos últimas décadas

concentrarnos en una drástica transición a las renovables, y convencer a Asia para que lo haga también. Tan drástica ha de ser la transición que según IPCC (2019) la reducción de emisiones de contaminantes climáticos ha de reducirse alrededor de -25 o un -75 % entre 2020 y 2030, si no queremos sobrepasar 2.0 o 1.5°C, respetivamente. Sin embargo, un rápido cálculo de la tendencia de los últimos años muestra un incremento de +1.8 % por año.

En calidad del aire, hemos mejorado mucho en las dos últimas décadas. En 1990, en la UE-28 la contaminación por partículas en suspensión causaba 1 millón de muertes prematuras al año (AEMA, 2018), mientras que el último informe de diciembre de 2021 de la Agencia Europea de Medio Ambiente, atribuye 0.3 millones en 2019 y EU-27 (AEMA 2021). Por tanto, hemos reducido 0.7 millones de muertes prematuras por año en estos 30 años. Sin embargo, 0.3 millones son muchas muertes prematuras, y además no están homogéneamente repartidas de por la geografía europea, pues los niveles de contaminación en ciudades escandinavas son muy inferiores a las nuestras.

Los contaminantes críticos (aquellos presentes en concentraciones muy por encima de los niveles recomendados por la OMS (2021) y, en algunos casos, incluso de los valores límite y objetivo de la legislación de la UE en aire ambiente exterior (2008/50/CE y 2004/107/CE) son las partículas en suspensión finas y finas+gruesas (PM2.5 y PM10, respectivamente), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y el benzo[a]pireno (BaP).



La limitación del tráfico en las ciudades europeas favorece la calidad del aire y fomenta el transporte verde y activo © E. Fdez



Los vehículos diésel fabricados entre 2005 y 2019 emiten cantidades elevadas de NOx en circulación urbana. © E. Fdez

España lleva un cierto retraso, respecto a otros Estados Miembros de la UE, en lo referente a aplicación de políticas de reducción de la contaminación urbana. Y no solamente respecto a ciudades clásicamente más ambientalistas del centro y norte de Europa, sino a regiones como el norte de Italia. Muchas de estas medidas-políticas son de ámbito local y autonómico, aunque también nacional. En el contexto más urbano las actuaciones con mayor efectividad son de los dos primeros ámbitos, afectando sobre todo al tráfico rodado. Éste es responsable de aproximadamente el 35 % del PM2.5, y del 65 % del NO<sub>2</sub>, que respira un ciudadano español de las grandes capitales. Además, el tráfico rodado, debido sus grandes volúmenes de emisión de NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>), y compuestos orgánicos volátiles (COVs), ambos precursores de O<sub>3</sub> troposférico, es también es en parte responsables de los episodios de O<sub>3</sub> urbano, periurbano y rural.

### El 'diesel gate' complicó la mejora de la calidad del aire al provocar que ciertos turismos diésel tengan elevadas emisiones de NO<sub>x</sub> en circulación urbana

En el caso del NO<sub>2</sub>, la mejora de la calidad del aire se ha visto afectada negativamente por el 'diesel gate', el cual ha causado que vehículos diésel fabricados entre 2005 y 2019 tengan elevadas emisiones de NO<sub>x</sub> en condiciones de circulación urbana. Por cierto, los vehículos diésel fabricados desde 2019 son tan contaminantes como los de gasolina, o incluso menos. En España las dos mayores ciudades incumplen el nivel límite anual de la legislación, el cual es cuatro veces más permisivo que el valor guía respectivo de la OMS (2021). Para reducir los niveles de este contaminante las medidas más efectivas se han centrado en reducir el número de vehículos metropolitanos circulantes mediante (Querol et al., 2018): (1) un transporte público metropolitano y urbano bien desarrollado, rápido, económico y confortable; (2) la implementación de peajes urbanos y restricción del parking en superficie en la ciudad; (3) creación de zonas de bajas emisiones que no permitan la circulación en los vehículos antiguos más contaminantes y favorecen la de los más eco-eficientes; (4) desarrollo de una logística eficiente de distribución urbana de mercancías y taxis con medidas tecnológicas y no tecnológicas; (5) el rediseño urbano que gane espacio al vehículo en favor de zonas verdes y peatonales, y que separe tráfico de hospitales, colegios, centros de atención primaria, geriátricos, zonas de juego, y favorezcan el transporte activo (peatones y ciclistas), entre otras.

## Medidas sobre emisiones industriales y otras

Para el PM<sub>2.5</sub> estas medidas pueden ser parcialmente efectivas, pero además deben aplicarse medidas sobre emisiones industriales, puertos, aeropuertos, construcción-demolición, emisiones domésticas y residenciales, y también agrícolas. Así, tanto para PM<sub>2.5</sub> como para BaP, muchos países y regiones han creado (y exigido para instalar) certificaciones de bajas emisiones para las calderas de biomasa, a la vez que se obliga al uso de biomasa certificada (origen natural, baja humedad y cenizas). España ha evolucionado muy positivamente en cuanto a la reducción de niveles de PM hasta 2010. Así, en 2005 se incumplía la legislación en materia de PM<sub>10</sub> en 49 zonas de calidad del aire, mientras que actualmente ninguna incumple. Esta tendencia decreciente fue muy clara hasta 2010, pero desde entonces se evidencia un claro estancamiento. Desde este año, un cumplimiento generalizado de los valores límite de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> ha redundado posiblemente en un relajamiento de la aplicación de acciones encaminadas a reducir estos contaminantes. Esta reducción de actuaciones ambientales sobre PM y sus precursores ha causado que haya una distancia considerable entre los niveles de PM<sub>2.5</sub> urbanos en España y los propuestos como valores guía por la OMS (2021). Otros países, como Suiza, desde hace años, sustituyeron los valores límite de su legislación para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, por los valores guía de la OMS (2005), existentes en la década anterior. Desde entonces, una situación continuada de incumplimiento de su normativa les ha obligado a tener que tomar medidas de reducción de emisiones, y es por ello que actualmente se encuentran en condiciones de poder al-



### España lleva cierto retraso respecto a otros Estados Miembros en la aplicación de políticas de reducción de la contaminación urbana

canzar cumplimiento de los valores guía actuales de la OMS (2021) de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en un futuro no muy lejano. A este complejo escenario, se ha de añadir el hecho de que la reducción 2000-2010 de los niveles de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se alcanzó sobretodo en base a la reducción de emisiones de PM primario (hollín del diésel, emisiones de polvo de obras de construcción, emisiones de ceniza de plantas industriales, de calderas, entre otras). Actualmente, la mayor parte del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> es de origen secundario, es decir generado en la atmósfera a partir de gases precursores, y no emitido directamente como PM (Amato et al., 2016); y reducir este tipo de PM es mucho más difícil que el PM primario (Querol et al., 2021).

Para el O<sub>3</sub> (otro contaminante de origen secundario) la situación es también muy compleja. Las medidas de reducción de emisiones de precursores deben producirse no sólo a nivel urbano, sino regional, nacional y europeo. Además, la meteorología compleja que rige sus episodios de contaminación dificulta la aplicación de medidas coste-efectivas (Millán et al., 2002). Sin embargo, el hecho de la reducción marcada de O<sub>3</sub> en toda la franja mediterránea española en los veranos de



Deben aplicarse medidas sobre emisiones industriales, aeropuertos y emisiones domésticas

2020 y 2021 (MITERD 2021, 2022), con una reducción de tráfico de 20 y 10 %, junto con la reducción del tráfico aéreo y marítimo, da esperanzas de que el problema sea resoluble. Debido a la alta complejidad que tiene la reducción de los niveles de este contaminante secundario, su marco normativo aplica valores objetivo, y no límite; lo cual supone que exceder sus valores normativos no conlleva necesariamente una sanción por incumplimiento legal. Además, por ser un contaminante fotoquímico (activado y acelerado en su formación por altos niveles de radiación solar), sus incumplimientos normativos son mucho más frecuentes e intensos en el sur de Europa que en las regiones del norte, típicamente con más tendencia a 'tirar' de políticas ambientales que las primeras. Por todos estos motivos en los últimos años los niveles de este contaminante se han mantenido relativamente constante, aunque la intensidad de los episodios más agudos ha disminuido claramente debido a la reducción de emisiones de precursores.

### La regulación de puertos y transporte marino es aún insuficiente para reducir emisiones

#### Cambio climático y calidad del aire

En este punto cabe indicar la clara retroalimentación negativa entre el cambio climático y la calidad del aire. Por una parte, contaminantes de calidad del aire como el carbono negro ('Black Carbon' o BC), el O<sub>3</sub> y CO, entre otros, contribuyen también al calentamiento

atmosférico que rige el cambio climático. Por otra, la instalación de determinadas tecnologías de reducción de emisiones de contaminantes urbanos (filtros diésel, desulfurización con caliza, son ejemplos) conllevan un incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otra, la reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> han resultado en una clara disminución de sulfatos y nitratos en PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, los cuales tienen un claro efecto atmosférico refrigerante (IPCC 2021); su disminución para reducir impactos en salud de la población, reduce este efecto refrigerante. Por otra, el cambio climático incrementa la frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor y periodos de sequía, entre otros efectos. Cuanto más dure una ola de calor más alta es la probabilidad de que una actividad mecánica produzca una chispa, o una tormenta seca un rayo, que causen un incendio forestal. Éste libera enormes volúmenes de CO<sub>2</sub> de golpe que a su vez contribuyen a retro-alimentar el cambio climático; pero además emite PM, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub> y COVs, que perjudican la calidad del aire. Además, periodos prolongados de olas de calor (poco viento, poca lluvia, mucha radiación solar, aportes de polvo africano) retroalimentan negativamente la calidad del aire.

Finalmente, en este apartado hay que destacar las políticas como el apoyo al diésel en 1990-2010 y a la instalación de calderas de biomasa (sin el despliegue de una legislación ambiental adecuado en paralelo), redundaron en incremento de las emisiones de NO<sub>x</sub> y PM, y PM y B(a)P, respectivamente. En ningún caso indicamos que no debiera de apoyarse ambos sectores, sino que pedimos constantemente que su apoyo fuera acompañado de una legislación EURO adecuada, en



La ola de incendios ha perjudicado mucho la calidad global del aire © E. Fdez

el primer caso, y de una legislación paralela que obligase a la instalación de calderas de bajas emisiones y a la obligatoriedad de uso de biomasa certificada, en el segundo.

## Ventilación versus eficiencia energética

En cuanto a la calidad del aire interior, la evolución ha sido positiva durante muchos años, pero cambios asociados a la mejora de eficiencia energética de los edificios y transporte público han derivado en ambientes interiores herméticamente cerrados, y en muchos casos recirculación masiva de aires interiores (Morawska et al., 2020). La reciente pandemia Covid-19 ha mostrado muy claramente el efecto negativo de este ‘encajonamiento’ interior, y que es necesario ventilar (que no significa mover aire, sino cambiar el aire interior por aire exterior fresco) para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades respiratorias. Esta ventilación permite también reducir los niveles de contaminantes emitidos en espacio interiores (desde cocinas, calefacciones, humedades, COVs de disolventes, pinturas, muebles, textiles, detergentes, además del radón, entre otros). La complejidad de alcanzar una buena calidad del aire interior con una ventilación adecuada, reside en evitar que durante ésta se introduzcan contaminantes externos al interior. Así, una mala calidad del aire exterior, y no solo urbana, sino también rural por altos niveles de  $O_3$ , retroalimenta negativamente la calidad del aire interior. Una ‘hermetización’ de los hogares, escuelas y oficinas para incrementar la eco-efi-

ciencia climática de los edificios, puede llegar a perjudicar la calidad del aire interior; y una exigencia de un mayor acondicionamiento del aire interior para una ventilación adecuada, y su purificación, pueden llevar a un mayor consumo energético y a un incremento de emisiones de gases de efecto invernadero.

### Muchos países han exigido instalar las calderas de biomasa de bajas emisiones, que deben utilizar combustible certificado

Se ha intentado reflejar la complejidad actual y las inter-relaciones de los tres ámbitos tratados: clima, calidad del aire exterior y calidad del aire interior. En ciencia y tecnología esta complejidad no es sinónimo de imposibilidad. Hay políticas ambientales que pueden beneficiar a los tres, pero hay otras que, mejorando un ámbito, se puede empeorar otro. Lo importante es evaluar el efecto de las medidas en uno de estos ámbitos en los otros dos, compatibilizarlas y aprovechando sinergias. Y para ello, las decisiones basadas sobre sólidos pilares de ciencia e ingeniería son más relevantes que nunca. Hemos avanzado mucho, y mejorar cuando se ha reducido mucho es más difícil (que no imposible). ✨



Las calderas de biomasa deben ser certificadas y utilizar combustibles de origen limpio



La ventilación debe ser compatible con la eficiencia energética de los edificios de nueva construcción

## REFERENCIAS

2004/107/CE. Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente, [https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2005-80075#:~:text=L%2D2005%2D80075-,Directiva%202004%2F107%2FCE%20del%20Parlamento%20Europeo%20y%20del%20Consejo,a%2016%20\(14%20p%C3%A1gs.%20\)](https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2005-80075#:~:text=L%2D2005%2D80075-,Directiva%202004%2F107%2FCE%20del%20Parlamento%20Europeo%20y%20del%20Consejo,a%2016%20(14%20p%C3%A1gs.%20))

2008/50/CE. Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-81053>

AEMA, 2018. Air Quality in Europe 2018. Agencia Europea de Medio Ambiente, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>

AEMA 2021. Air Quality in Europe 2021, Agencia Europea de Medio Ambiente, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021>

Amato et al., 2016

IPCC, 2021. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. 6th Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)

Millán M.M., et al., 2002. Atmospheric dynamics and ozone cycles related to nitrogen deposition in the western Mediterranean. Environmental Pollution, 118, 167–186. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749101003116>

MITERD 2021. Evaluación de la calidad del aire en España, Año 2020. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/evaluacioncalidaddelaireenespana2020-tcm30-534713.pdf>

MITERD, 2022. Evaluación de la calidad del aire en España, Año 2021. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadairespana2021-tcm30-543132.pdf>

Morawska L. et al., 2020. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? Environment International, 142, 105832, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020317876?via%3Dihub>

OMS, 2005. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2006). Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. World Health Organization. Regional Office for Europe, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>

OMS, 2021. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

Querol X., 2018 airuse

Querol et al., 2021. Lessons from the COVID-19 air pollution decrease in Spain: Now what? Science of the Total Environment, 779, 146380 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721014480>

Querol X., 2022. Millorar la qualitat de l'aire que respirem. Revista Mètode, Universitat de València, 2022, 2, 113. <https://metode.cat/revista/vida-social>

UNEP, 2019. Emissions Gap Report 2019. UN Environmental Programme. Report 26/11/2019. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>





# Efectos en la salud de la contaminación atmosférica química y acústica urbana

*El impacto sobre la salud de los ciudadanos que tiene la contaminación atmosférica va mucho más allá de las cifras de mortalidad. Enfermedades como cáncer, patologías cardiovasculares, respiratorias, endocrinas, de salud mental, neurodegenerativas, incidencia en variables adversas al nacimiento, indican que el problema de la contaminación atmosférica es un problema de Salud Pública y como tal debe abordarse. La adopción de medidas dirigidas a bajar los niveles de contaminación rápidamente tiene un beneficio inmediato en la salud de los ciudadanos y así lo muestran las experiencias exitosas llevadas a cabo de diversas ciudades.*

**Julio Díaz**

Unidad de Referencia de Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano  
Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III

En España cerca del 80 % de la población vive en ciudades. En estos entornos urbanos la principal fuente de contaminación atmosférica tanto química como acústica es el tráfico rodado. Se estima que los vehículos son los responsables del 55 % de las emisiones de material particulado (PM) y del 70 % de las de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)<sup>(1)</sup>. También el tráfico se relaciona con más del 70 % del ruido que se mide en una gran ciudad<sup>(2)</sup>. Según la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera<sup>(3)</sup>, la contaminación atmosférica se define como: “La presencia en la atmósfera de *materias, sustancias o formas de energía* que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza”. Por tanto, la contaminación atmosférica incluye a la contaminación atmosférica química tradicional, a la contaminación polínica y también a las contaminaciones denominadas térmica, lumínica, electromagnética y, por supuesto, la acústica. Pese a tener este origen común y formar parte de la misma definición, cuando se habla de contaminación atmosférica y de sus impactos en salud

generalmente se aborda el problema de la contaminación atmosférica de tipo química y muy pocas veces se hace referencia a los problemas en salud derivados de la contaminación acústica, aunque ambas tienen efectos muy similares tanto desde un punto de vista cuantitativo como cualitativo.

## Impacto de la contaminación atmosférica química urbana

### Población general

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), actualmente el 90 % de la población del planeta vive en áreas donde se superan los índices de protección de la salud considerados “seguros” para la contaminación atmosférica<sup>(4)</sup>. Más de 9 millones de muertes anuales a nivel mundial son atribuidas a la contaminación; esto supone el 16 % de todas las muertes del planeta. De ellas, un 92 % se producen en países con rentas bajas o medias. También indica que la contaminación atmosférica química ocasiona 7 millones de muertes prematuras al año, tanto por mala calidad del aire exterior como interior. Desde el punto de vista económico, el impacto de la contaminación supera los 3,7 billones de euros al año, es decir, el 6,2 % de la riqueza del planeta<sup>(5)</sup>. En Europa, el último informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente describió que el 94-99 % de la población de los 28 países miembros de la Unión Europea había estado expuesta a niveles de NO<sub>2</sub>, materia particulada fina (PM) y ozono (O<sub>3</sub>) superiores a los valores recomendados por la OMS durante el año 2019<sup>(6)</sup>. En este mismo informe se explica que la población que vive en grandes ciudades está expuesta a elevados niveles de concentración de contaminantes atmosféricos debido a su emisión por el tráfico, siendo los países del sur de Europa los que muestran niveles de O<sub>3</sub> más altos debido a que tienen mayor número de horas de luz solar.

La evidencia científica muestra que la contaminación del aire a los niveles actuales de las ciudades europeas es responsable de una carga significativa de muertes, hospitalizaciones y exacerbación de síntomas, especialmente en las enfermedades cardiorrespiratorias. Los esfuerzos se dirigen a analizar los mecanismos biológicos que intervienen, los resultados en esta línea indican que las vías de toxicidad son múltiples y que los efectos presentan una gradación tanto en la gravedad, como en la población susceptible afectada. Es decir, las patologías menos graves son las que afectan a un mayor número de personas y que los efectos más severos son los que afectan a un menor número de personas. La cuantificación de los impactos constituye la segunda línea de trabajo en este campo. Los efectos

relacionados con exposiciones agudas de corta duración se traducen en: incremento de la mortalidad, ingresos hospitalarios por afectación respiratoria o cardiovascular, visitas a urgencias y/o atención primaria por afectación respiratoria o cardiovascular, uso de fármacos, merma en la actividad y rendimiento, absentismo laboral y escolar, síntomas agudos (tos, mucosidad, infecciones respiratorias, rinitis) y cambios fisiológicos (función pulmonar). Por otro lado, los efectos atribuidos a la exposición prolongada incluyen desde un incremento de la mortalidad por enfermedad respiratoria o cardiovascular, aumento en la incidencia y prevalencia de enfermedades crónicas respiratorias (asma, EPOC) y enfermedad cardiovascular crónica. En la figura 1, se muestra en una pirámide la proporción de población afectada en relación a los efectos en la salud que produce en la población la contaminación atmosférica.

Respecto a los mecanismos por los que los principales contaminantes atmosféricos inciden en la salud, el material particulado (PM) se clasifica en función del tamaño de su diámetro aerodinámico en micras; la nocividad de las partículas se basa además en su composición y en su tamaño. Respecto a su composición, las partículas deriva-

### La contaminación del aire de las ciudades europeas provoca una carga significativa de muertes, hospitalizaciones y exacerbación de síntomas, especialmente cardiorespiratorios

das de la emisión de los vehículos diésel son de las más peligrosas puesto que gran parte de su composición son metales pesados (Mn, Ni, etc.); respecto al tamaño se miden PM10 o partículas de tamaño inferior a 10 micras también denominadas "torácicas" porque penetran en el sistema respiratorio y se depositan a nivel de bronquios. También se miden partículas más pequeñas denominadas: PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>0,1</sub> o ultrafinas. Éstas dos últimas son las más nocivas porque son las que penetran más profundamente en nuestro organismo, llegando a alcanzar el torrente circulatorio y generando reacciones de oxidación e inflamación sistémica, provocando diferentes problemas de salud (7). Generalmente el origen del material particulado en la



Figura 1. Pirámide que representa los diferentes efectos de la contaminación atmosférica química sobre la salud. Fuente: Elaboración propia

atmósfera urbana es el tráfico rodado, pero también son importantes los fenómenos de resuspensión de material depositado en el suelo o la entrada de partículas materiales de origen natural, en especial advección de polvo del Sahara (8) frecuente en nuestras latitudes y de combustión de biomasa procedente, en gran medida de incendios forestales (9). Su relación funcional con la mortalidad es lineal y sin umbral de inocuidad. Es decir, todo incremento en la concentración de PM10 lleva asociado un aumento en la mortalidad diaria.

### Un 95,5 % de la población española respira aire contaminado según los valores recomendados por la OMS

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es el otro contaminante de tipo primario que está presente mayoritariamente en una atmósfera urbana. Es un gas que procede de la quema de combustibles fósiles a altas temperaturas, por lo que en una atmósfera urbana en gran medida proviene del tráfico rodado. El NO<sub>2</sub> provoca una respuesta inflamatoria importante por activación de las vías oxidativas y también es capaz de dañar los macrófagos alveolares, provocando un incremento en el riesgo de sufrir diferentes infecciones pulmonares (10). Su relación con la mortalidad es lineal y sin umbral de inocuidad.

El ozono (O<sub>3</sub>) es otro tipo de gas, es un contaminante secundario que se forma a partir de compuestos orgánicos volátiles o de óxidos de nitrógeno que provienen de los vehículos. Para su formación necesita gran estabilidad atmosférica y radiación solar intensa, lo que hace que se produzca fundamentalmente en los meses de verano y en las horas centrales del día. Su fuerte carácter oxidante hace que reaccione rápidamente con otros compuestos por lo que las concentraciones máximas de ozono suelen darse en la periferia de las grandes ciudades y en los parques. Desde el punto de vista de su impacto en salud, el ozono se relaciona fundamentalmente con enfermedades respiratorias y síntomas irritativos, escozor de ojos, dolor de cabeza, sensación de falta de aire, etc. La citotoxicidad del ozono puede provocar alteraciones funcionales y morfológicas del epitelio respiratorio, así como una respuesta inflamatoria que puede provocar una exacerbación bronquial y una alteración del sistema inmune. Sin embargo, las evidencias entre la exposición al ozono y causas cardiovasculares son menos consistentes (11). Pese a esta aparente falta de consistencia entre ozono y enfermedades cardiovasculares, investigaciones recientes apuntan a que la relación entre enfermedades cardiovasculares y exposición a ozono, a largo plazo, es importante.

En España, un 33,1 % de la población respira aire que incumple los estándares vigentes con niveles de contaminación por encima de los límites marcados por la UE y un 95,5 % de la población respira aire contaminado según los



La contaminación atmosférica se asocia con el riesgo de padecer ansiedad, insomnio y depresión



La contaminación del aire está relacionada con diversos cánceres como pulmón, mama o digestivo



Cerca de 2 400 partos prematuros cada año están relacionados con la contaminación atmosférica química en España

valores recomendados por la OMS. Estas cifras se traducen en 33.200 muertes prematuras anuales: 25.500 por  $PM_{2,5}$ , 1.800 por  $O_3$  y 5.900 por  $NO_2$ . Supone económicamente un 2,8 % del PIB<sup>(12)</sup>. Estimaciones más recientes basadas en funciones dosis-respuesta calculada para la población española más ajustadas, ofrecen valores más bajos en relación a la mortalidad anual a corto plazo: 2 600 muertes/año las relacionadas con  $PM_{10}$ <sup>(7)</sup>; 6 100 con el  $NO_2$ <sup>(10)</sup> y 500 al  $O_3$ <sup>(11)</sup>. La mortalidad anual, a corto plazo, atribuible a la contaminación atmosférica química en España estaría en torno a las 10 000 personas. Esta mortalidad representa la quinta parte de la mortalidad atribuible al tabaco y 8 veces más que la causada por accidentes de tráfico.

**Multitud de estudios que relacionan el ruido con alteraciones psíquicas como inseguridad, inquietud, falta de concentración, astenia, agresividad, irritabilidad, alteraciones del carácter y de la personalidad y trastornos mentales**

Además, la contaminación del aire está relacionada tradicionalmente con el cáncer de pulmón. En el año 2010 se produjeron 223.000 muertes por cáncer de pulmón en el mundo atribuibles a la contaminación y la IARC (Agencia Internacional Investigación en Cáncer) clasificó la contaminación atmosférica como un cancerígeno de orden 1<sup>(13)</sup>. Un trabajo de revisión con datos de diferentes cohortes poblacionales en Europa relaciona de forma moderada la contaminación atmosférica con el cáncer de mama<sup>(14)</sup> y en especial con los óxidos de nitrógeno. Otro estudio realizado en Hong Kong<sup>(15)</sup> en un grupo de 67.000 personas mayores de 65 años mostró que para incrementos de  $10 \mu g/m^3$  en la concentración de  $PM_{2,5}$  aumentaba el riesgo de cáncer por todas las causas y de cáncer del aparato digestivo. La contaminación atmosférica también se relaciona con otras patologías de carácter endocrino como la diabetes. En un trabajo que resume evidencias científicas publicadas<sup>(16)</sup> se establece que la contaminación del aire es un nuevo factor de riesgo para diversas disfunciones metabólicas y diabetes tipo 2.

Por último, a nivel conductual, la contaminación atmosférica se asocia con el riesgo de padecer ansiedad y depresión. Un estudio realizado en Barcelona entre los años 2013-2014 muestra aumento de casos de depresión y uso de medicamentos como benzodiazepinas y antidepresivos a medida que aumentan los niveles de exposición a los con-

taminantes<sup>(17)</sup>. Por otra parte, una revisión realizada sobre los estudios que relacionan contaminación atmosférica y Parkinson establece que, aunque existe un sesgo importante, la exposición a  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$  y  $O_3$ , puede aumentar el riesgo de padecer la enfermedad de Parkinson<sup>(18)</sup>. Otro trabajo realizado en Madrid muestra que los ingresos hospitalarios urgentes por esta enfermedad aumentan en relación a las concentraciones de  $PM_{2,5}$ .<sup>(19)</sup> También se han relacionado los niveles de contaminación con el aumento de riesgo de demencia en los ancianos.<sup>(20,21)</sup>

### Población infantil

Las patologías anteriormente descritas y la mortalidad asociada ocurren fundamentalmente en población adulta. Actualmente se está acumulando cada vez mayor evidencia científica en torno a que la exposición a los contaminantes del aire durante periodos de la vida fetal e infancia puede tener importantes efectos en la salud a largo plazo. El impacto se produce incluso a concentraciones de contaminante menores que en el caso de los adultos<sup>(22)</sup> debido a la vulnerabilidad que supone ya de por sí el aumento celular acelerado que se da en esta etapa para la formación del sistema nervioso, reproductivo y endocrino<sup>(23)</sup> entre otros; y también al hecho de que las rutas fisiológicas sean metabólicamente más inmaduras y los mecanismos de detoxificación estén igualmente menos desarrollados y sean

**Se ha detectado la existencia de asociación entre los contaminantes atmosféricos y el grado de desarrollo cognitivo en niños de países desarrollados**

menos eficaces. Los niños son especialmente vulnerables a la contaminación atmosférica. Tanto la contaminación atmosférica ambiental como la contaminación atmosférica doméstica contribuyen a las infecciones de las vías respiratorias, que causaron 543.000 muertes en menores de 5 años en 2016.<sup>(24)</sup>

La exposición de los niños a  $O_3$  y  $PM$  se asocia con una mayor probabilidad de bronquitis y otras enfermedades respiratorias en la etapa post-natal, mientras que la exposición intrauterina al dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas tienen efectos negativos significativos sobre el crecimiento fetal y parámetros antropométricos al nacer<sup>(25)</sup>. Son numerosos los estudios recientes que están mostrando la incidencia de la contaminación atmosférica química sobre la población infantil. Un trabajo publicado en enero de 2019<sup>(26)</sup> muestra una relación directa entre los ingresos hospita-



El dióxido de nitrógeno que genera el tráfico rodado incrementa el riesgo de sufrir infecciones pulmonares

## La contaminación atmosférica ambiental y la doméstica contribuyen a las infecciones de las vías respiratorias, que causaron 543 000 muertes en menores de 5 años en 2016

larios urgentes por causas respiratorias en un hospital de Madrid y la contaminación atmosférica en el periodo 2012-2016 estableciendo una asociación lineal y sin umbral entre las concentraciones de  $\text{NO}_2$  y los ingresos hospitalarios. Según este estudio si se hubieran cumplido los estándares de la OMS fijados en valores medios anuales de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se habrían evitado el 8,4 % de los ingresos por todas las causas y el 6,7 % de los ingresos por causas respiratorias. Pero no sólo existen impactos

en problemas respiratorios infantiles. Otras investigaciones han relacionado el riesgo de sobrepeso, medido a través del índice de masa corporal con la contaminación del aire, tanto en la vivienda como en niveles de exposición escolar <sup>(27)</sup>, se observó que los niños expuestos a niveles medio-altos de contaminación por  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{NO}_2$  y carbono elemental, eran más propensos a tener sobrepeso u obesidad que aquellos que estaban expuestos a niveles bajos. No sólo son problemas físicos los relacionados con la contaminación atmosférica en niños, también se ha detectado la existencia de asociación entre los contaminantes atmosféricos y el grado de desarrollo cognitivo en los países desarrollados <sup>(28,29)</sup>.

### Bebés y desarrollo fetal

La etapa de desarrollo intrauterino no está exenta de riesgos para el feto, teniendo constancia de que la placenta no protege de la exposición a los contaminantes ambientales presentes en la sangre materna <sup>(30)</sup>. Este contacto intrauterino puede conllevar resultados adversos tanto a corto plazo, como muerte fetal intrauterina y malformaciones congénitas <sup>(31)</sup>, como a largo plazo, con morbi-mortalidades que se denominan variables adversas al nacimiento, siendo las más destacadas el bajo peso al nacer <sup>(32)</sup> y la prematuridad <sup>(33)</sup> al nacimiento. Estas variables denominadas “adversas al nacimiento” recogen fundamentalmente: bajo peso al nacer (bebés nacidos  $< 2\,500\text{ g}$ ); partos prematuros (bebés nacidos antes de las 37 semanas de gestación) y mortalidad fetal (bebés nacidos muertos o que mueren antes de 24h).

En torno al mecanismo fisiopatológico subyacente todavía no se tiene un conocimiento robusto al respecto, pero todo apunta a que las partículas  $\text{PM}_{2,5}$  y las ultrafinas ( $\text{PM}_{0,1}$ ) son los contaminantes atmosféricos que contribuyen en mayor medida, principalmente por dos características:

- Por su pequeño tamaño este tipo de partículas pueden llegar hasta el torrente circulatorio.
- Por su composición química, característica derivada en buena parte de la acción antropogénica ya que hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y metales pesados están entre los componentes que estas partículas pueden transportar.

Respecto a las investigaciones recientes llevadas a cabo en nuestro país, que han analizado cómo los diferentes contaminantes atmosféricos influyen en este tipo de variables, existe dentro de los denominados estudios de cohortes el proyecto INMA (Infancia y Medio Ambiente), formado por una red de investigación de grupos españoles, cuyo objetivo es estudiar el papel de los contaminantes ambientales más

importantes en el aire, agua y dieta durante el embarazo y sus efectos en el desarrollo infantil. Entre los resultados más relevantes encontrados para los efectos negativos de la contaminación atmosférica, se encuentran dos trabajos, en los que se pone de relevancia la influencia del  $\text{NO}_2$  en bebés que nacen con casi un centímetro menos de talla y 22 gramos menos de peso; con un menor desarrollo neurológico que puede ser constatado a partir de los 18 meses de vida; y que en los primeros años sufren un cinco por ciento más de infecciones respiratorias <sup>(34)</sup>. En otro trabajo del proyecto en el que mediante modelos geoestadísticos se estimó la exposición residencial a dos contaminantes ambientales, dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), desde el embarazo hasta los 4,5 años de edad, se realizó una prueba de función respiratoria. En esta prueba, los niños que habían estado expuestos a mayores concentraciones de benceno y dióxido de nitrógeno durante el embarazo obtuvieron peores resultados, especialmente si la exposición se había producido durante el segundo trimestre de embarazo. En concreto, los niños y niñas más expuestos presentaban mayor obstrucción de las vías respiratorias en las pruebas de espirometría, y un mayor riesgo de baja función pulmonar. <sup>(35)</sup>



Efectos de la tormenta de polvo del Sahara en Madrid en 2022 © E. Fernández

Por otra parte, en resultados obtenidos en análisis de tipo ecológico longitudinal con series temporales en la ciudad de Madrid, se ha observado un incremento del riesgo tanto del número total de nacidos a término como de los partos prematuros asociado a las concentraciones de  $\text{PM}_{2,5}$  <sup>(35)</sup>. El impacto cuantitativo de este efecto sería el de un riesgo atribuible del 2,2 % para el caso de las  $\text{PM}_{2,5}$ . Es decir, que una disminución en las concentraciones de estos contaminantes en  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  reducirían el número de partos prematuros en un 2,2 %.

Además de estos efectos a corto plazo, también se ha determinado cómo influyen los contaminantes atmosféricos urbanos durante todo el periodo de gestación, determinando cuál son las ventanas gestacionales en las que es mayor el impacto de las sustancias contaminantes sobre el feto. Este estudio se ha realizado tanto para Madrid <sup>(36,37)</sup> cómo para todas las provincias españolas <sup>(38)</sup> en el que se analiza el impacto de  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$  obteniéndose un comportamiento muy similar en el impacto de las  $\text{PM}_{10}$  y del  $\text{NO}_2$ . El impacto a nivel global sería que cada año se producen cerca de 700 casos de bajo peso en relación a  $\text{PM}_{10}$  y unos 1 000 en relación a  $\text{NO}_2$ , es decir, el 13 % de los nacimientos con bajo peso estarían relacionados con la contaminación atmosférica urbana. En cuanto a los partos prematuros <sup>(39)</sup>, los resultados obtenidos indican que cerca de 2 400 partos prematuros cada año estarían relacionados con la contaminación atmosférica química en España, esto representa el 17 % del total de los partos prematuros y el 1,3 del total de todos los partos que ocurren en nuestro país.

Por otra parte, ya existen líneas de investigación orientadas no sólo a variables de tipo antropométrico/físico como las señaladas, sino que se están realizando investigaciones sobre como la exposición a  $\text{NO}_2$  y partículas  $\text{PM}_{10}$ - $\text{PM}_{2,5}$ , principalmente en la etapa prenatal se asocian con alteraciones en la cognición de los niños, ya que las estructuras básicas del cerebro que controlan las funciones vitales del cuerpo se desarrollan durante el embarazo y gran parte del desarrollo de la corteza cerebral que está involucrada en el pensamiento y la acción se produce durante los dos primeros años de vida <sup>(40)</sup>. El deterioro de la maduración del cerebro está relacionado con algunos de los problemas de salud infantil que hoy en día son más comunes, tales como trastornos de conducta y trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), que constituyen una carga importante para la sociedad. <sup>(41)</sup>

Por último, señalar que un estudio realizado en 783 niños y niñas de una población holandesa <sup>(42)</sup> estableció, en base



enfermedad cardiovascular inducida por el ruido es, en general, de magnitud moderada, pero, sin embargo, es de gran importancia desde el punto de vista de la salud pública, por el gran número de personas a riesgo (los expuestos al ruido son muchos) y porque el ruido al que estamos expuestos continúa aumentando y, en ocasiones, es muy difícil de evitar.

En este sentido, el estudio 'Burden of Disease from Environmental Noise' (Carga de Enfermedad por Ruido Ambiental) <sup>(47)</sup> ha estimado que en Europa se pierden cada año 61 000 años de vida saludable por discapacidad solo a causa de la cardiopatía isquémica atribuible a ruido ambiental. Un aspecto interesante es que estos efectos cardiovasculares del ruido son independientes de las molestias y perturbaciones en el sueño que el ruido también ocasiona. Quiere decir que el ruido que no interfiere con el sueño, también puede provocar respuestas autónomas como las descritos. Existen multitud de estudios que relacionan

el ruido con alteraciones psíquicas tales como inseguridad, inquietud, falta de concentración, astenia, agresividad, irritabilidad, alteraciones del carácter, alteraciones de la personalidad y trastornos mentales. Mediante estudios epidemiológicos, se conoce que el ruido está relacionado con los internamientos en psiquiátricos, con aumento de suicidios, etc. Otros trabajos de similares características muestran la influencia del ruido sobre el comportamiento solidario, de modo que ha quedado demostrado que el nivel de ayuda entre vecinos disminuye según aumenta el nivel de ruido ambiental.

### Mecanismos biológicos implicados en los efectos no auditivos de ruido

La activación del sistema reticular por el ruido produce el vertido de sustancias en sangre como mecanismo de respuesta a una situación de estrés, principalmente, adrenalina, norepinefrina y cortisol para personas sometidas a ruido de tráfico, que podría explicar la relación entre ruido y diversas patologías cardiovasculares. El grado de aceptación del ruido ambiental viene determinado por aspectos psicosociales y demográficos como el tiempo de residencia, la sensibilidad, la actitud y la personalidad <sup>(48)</sup>. Esta respuesta es canalizada por el sistema límbico al hipotálamo, en un proceso endocrino que culmina en la corteza adrenal con la liberación de cortisol. En todos los estudios se constata una generalizada inadaptación al ruido nocturno a largo plazo por parte de los individuos, lo que puede llevar a una cronificación en la sobreproducción de cortisol <sup>(49)</sup>. La hipercortisolemia está asociada con el desarrollo o agravamiento de la aterosclerosis. En efecto, el cortisol activa el metabolismo del tejido adiposo con el fin de incrementar el aporte energético en el organismo en respuesta al estrés. La lipólisis de los triglicéridos aumenta la cantidad de ácidos grasos en las arterias, favoreciendo la acumulación irreversible de placas que aumentan el riesgo de accidente cardiovascular por isquemia o trombosis <sup>(50)</sup>. Por otro lado, niveles altos de cortisol se relacionan con un debilitamiento del sistema inmunológico lo que haría prosperar algunas patologías de carácter infeccioso relacionadas con el aparato respiratorio.

### Impacto a corto plazo del ruido en Madrid

*A continuación, se detallan los resultados de algunos trabajos de análisis de series temporales realizados para la ciudad de Madrid en diferentes periodos de tiempo. En la figura 2 se muestra una infografía que resume estos efectos del ruido a corto plazo.*



**Ingresos hospitalarios de carácter urgente:** Los resultados indican que, independientemente de la contaminación atmosférica química, incrementos de 1 dB(A) en los niveles de ruido diurno se relacionan con un incremento del riesgo del 5,1 % para los ingresos por todas las causas. Para el caso de las causas circulatorias es del 4,2 % y para la respiratorias del 3,7 % <sup>(51)</sup>. También se ha relacionado el ruido de tráfico en la ciudad de Madrid con incrementos de los ingresos hospitalarios por demencia <sup>(52)</sup>, Parkinson <sup>(53)</sup> y esclerosis múltiple <sup>(54)</sup>.

**En la ciudad de Madrid se podrían evitar 312 muertes anuales en mayores de 65 años si se redujesen los niveles de ruido diario en 0,5 decibelios**

**Mortalidad:** El aumento de 1 dB(A) en los niveles del ruido de tráfico se relaciona con un efecto sobre la mortalidad por causas cardiovasculares de hasta un 6,6 % en el grupo de mayores de 65 años, siendo mayor el efecto para el ruido diurno, del 3,5 % para "otras enfermedades isquémicas"; un 5 % para el caso de accidente cerebrovascular y llega hasta un 7 % para el caso del infarto de miocardio <sup>(55)</sup>. En cuanto a las causas respiratorias el incremento del riesgo de morir por una causa respiratoria en Madrid como consecuencia del incremento del ruido diurno es de cerca del 4 % en los mayores de 65 años para incrementos de un 1 dB(A) y asciende hasta un 8 % para el caso de la neumonía y del 6 % para el caso de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) <sup>(56)</sup>. También se ha encontrado asociación entre el ruido de tráfico y la mortalidad por diabetes con

incrementos del 4 % por cada 0,5 dB(A) en los niveles de ruido nocturno. <sup>(57)</sup>

En la ciudad de Madrid, se podrían evitar 312 muertes anuales en mayores de 65 años si se redujesen los niveles de ruido diario en 0,5 dB(A). De estas muertes anuales, 145 se atribuirían a causas cardiovasculares y 97 a respiratorias. Este impacto es independiente y similar al de la contaminación atmosférica de tipo química que se ha considerado de forma tradicional relacionado con el tráfico <sup>(58)</sup>.

**Variables adversas al nacimiento:** El ruido de tráfico también presenta un efecto a corto plazo sobre las variables adversas al nacimiento. Se relaciona con bajo peso al nacer en el sentido de que por cada dB(A) de ruido diurno aumentan los partos prematuros un 3,2 %, los nacidos con bajo peso en un 6,4 % <sup>(36)</sup> y la mortalidad fetal en un 6 % <sup>(59)</sup>.

Recientemente se ha realizado un estudio en la Comunidad de Madrid en el que se ha relacionado el impacto que la contaminación atmosférica química y acústica tienen sobre los ingresos hospitalarios de carácter urgente a nivel diario y cuál es su cuantificación económica <sup>(60)</sup>. Según este estudio desarrollado durante el periodo de tiempo 2013-2018, las concentraciones de NO<sub>2</sub> se relacionarían con cerca de 8.200 ingresos anuales por todas las causas, cerca del 2,5 % de todos los ingresos que se producen en la Comunidad de Madrid, lo que supone un coste de unos 120 millones de €/año. El ozono troposférico se relaciona con 60 ingresos/año por todas las causas lo que supone unos 800.000€/año. El ruido se relaciona con cerca de 6.000 ingresos/año, es decir, el 1,6% de los ingresos anuales que se producen en la Comunidad de Madrid y



Casi uno de cada tres europeos está expuesto a niveles sonoros perjudiciales provenientes del tráfico



El aumento de 1dB en los niveles del ruido del tráfico influye en la mortalidad en mayores de 65 años



suponen un coste de 83 millones de €/año. Por tanto, la contaminación atmosférica tanto química como acústica suponen más de 14.000 ingresos al año lo que implica que más del 4% de los ingresos urgentes que se producen en Madrid con un coste superior a 200 millones de €/año.

## Un problema de Salud Pública

El impacto sobre la salud de los ciudadanos que tiene la contaminación atmosférica va mucho más allá de las cifras de mortalidad prematura con las que, de forma generalizada, aparece en los medios de comunicación. Si bien, la mortalidad es el impacto más grave de la contaminación, también es al que menos proporción de la población afecta. Enfermedades como cáncer, patologías cardiovasculares, respiratorias, endocrinas, de salud mental, neurodegenerativas, incidencia en variables adversas al nacimiento, etc., indican que el problema de la contaminación atmosférica es un problema de Salud Pública y como tal debe abordarse. La sociedad está demandando a las administraciones competentes la adopción de medidas que reduzcan su exposición a la contaminación atmosférica química. Pero estas actuaciones, basadas en la evidencia científica, deben ser estructurales y no coyunturales y que únicamente busquen el cumplimiento de las Directivas de la UE. Estas medidas deben pasar por limitar el acceso de

los vehículos al centro de las ciudades, con la instalación de aparcamientos disuasorios, fomentar el transporte público, en las ciudades donde exista, potenciar el metropolitano y racionalizar la utilización del transporte de mercancías con vehículos limpios. Deben abarcar toda la ciudad, no resolver problemas de forma puntual. No se puede olvidar que todas estas medidas se realizan en pro de la salud de los ciudadanos por tanto deben arbitrase Planes de Vigilancia en Salud Pública que monitoricen la incidencia que la contaminación tiene en los diversos indicadores de salud como ingresos hospitalarios, visitas de atención primaria, consumo de medicamentos y, por supuesto, la mortalidad diaria.

### En el año 2010 se produjeron en el mundo 223 000 muertes por cáncer de pulmón atribuibles a la contaminación

Si bien el problema de la contaminación química y acústica es un problema grave, también es cierto que la adopción de medidas dirigidas a bajar los niveles de contaminación rápidamente tiene un beneficio inmediato en la

salud de los ciudadanos y así lo muestran las experiencias exitosas que se han descrito de las actuaciones llevadas a cabo en Roma, Estocolmo, Los Ángeles o Pekín. La concienciación de la ciudadanía, la educación ambiental y la puesta en marcha de algunas medidas concretas en ciu-

dades españolas con una importante aceptación entre la ciudadanía nos hace ser optimistas de cara a la incidencia que la contaminación atmosférica pueda tener en la salud de los ciudadanos. ✨

## Referencias

1. Querol, X., Viana, M., Moreno, T., Alastuey, A., 2012. Bases científico-técnicas para un plan nacional de mejora de la calidad del aire. Informes CSIC.
2. Navares R, Aznarte JL, Linares C, Díaz J. *Direct assessment of health impact from traffic intensity*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109254> Environmental Research. 184 C (2020) 109254.
3. BOE, 2007. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-19744>.
4. WHO, 2018. <http://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people>
5. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017 May 13; 389(10082):1907-1918.
6. European Environment Agency. (2021). Air quality in Europe—2021 report [Publication]. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/n-europe-2020-report>.
7. Ortiz C, Linares C, Carmona R, Díaz J. Evaluation of short-term mortality attributable to particulate matter pollution in Spain. *Environmental Pollution*. 2017; 224: 541-551.
8. Díaz J, Linares C, Carmona R, Russo A, Ortiz C, Salvador P, Trigo RM. Saharan dust intrusions in Spain: health impacts and associated synoptic conditions. *Environmental Research*. 2017; 156:455-467. doi: 10.1016/j.envres.2017.03.047.
9. Linares C, Carmona R, Salvador P, Díaz J. Impact on mortality of biomass combustion from wildfires in Spain: a regional analysis. *Science of the Total Environment* 2018; 622-623:547-555. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.321.
10. Linares C, Falcón I, Ortiz C, Díaz J. An approach estimating the short-term effect of NO<sub>2</sub> on daily mortality in Spanish cities. *Environment International*, 2018; 116:18-28.
11. Díaz J, Ortiz C, Falcón I, Linares C. Short-term effect of tropospheric ozone on daily mortality in Spain. *Atmospheric Environment*. 2018; 187:107-116.
12. Ecologistas en Acción 2015. Informe de la calidad del aire en el Estado español durante 2014. [http://www.ecologistasenaccion.es/IMG/pdf/informe\\_calidad\\_del\\_aire\\_2014.pdf](http://www.ecologistasenaccion.es/IMG/pdf/informe_calidad_del_aire_2014.pdf).
13. Straif K, Cohen A, Samet, JM. IARC Scientific Publication 161. <http://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Air-Pollution-And-Cancer-2013>.
14. Schmidt CW. Air Pollution and Breast Cancer in Postmenopausal Women: Evidence across Cohorts. *Environ Health Perspect*; DOI: 10.1289/EHP3200.
15. Wong CM, Tsang H, Lai HK, Thomas GN, Lam KB, Chan KP et al. Cancer Mortality Risks from Long-term Exposure to Ambient Fine Particle. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2016 May; 25(5):839-45.
16. Alderete TL, Chen Z, Toledo-Corral CMI, Contreras ZA, Kim JS et al. Ambient and Traffic-Related Air Pollution Exposures as Novel Risk Factors for Metabolic Dysfunction and Type 2 Diabetes. *Curr Epidemiol Rep*. 2018 Jun; 5(2):79-91. doi: 10.1007/s40471-018-0140-5.
17. Vert C Sánchez-Benavides G, Martínez D, Gotsens X, Gramunt N, et al. Effect of long-term exposure to air pollution on anxiety and depression in adults: A cross-sectional study. *Int J Hyg Environ Health*. 2017 Aug; 220(6):1074-1080. doi: 10.1016/j.ijheh.2017.06.009.
18. Hu CY, Fang Y, Li FL, Dong B, Hua XG, Jiang W, Zhang H, Lyu Y, Zhang XJ. Association between ambient air pollution and Parkinson's disease: Systematic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2019 Jan; 168:448-459.
19. Culqui DR, Linares C, Carmona R, Ortiz C, Díaz J. Short-term association between environmental factors and emergency hospital admissions due to Alzheimer's disease in Madrid. *Science of the Total Environment* 2017; 592: 451-457.
20. Costa, L. G., Cole, T. B., Dao, K., Chang, Y.-C., Coburn, J., & Garrick, J. M. (2020). Effects of air pollution on the nervous system and its possible role in neurodevelopmental and neurode-



generative disorders. *Pharmacology & Therapeutics*, 210, 107523.

21. Delgado-Saborit, J. M., Guercio, V., Gowers, A. M., Shaddick, G., Fox, N. C., & Love, S. (2021). A critical review of the epidemiological evidence of effects of air pollution on dementia, cognitive function and cognitive decline in adult population. *The Science of the Total Environment*, 757, 143734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143734>

22. Weiss B, Landrigan PJ. The developing brain and the environment: An introduction. *Environ Health Perspect*. 2000;108(SUPPL. 3):373-4.

23. Bruckner J V. Differences in sensitivity of children and adults to chemical toxicity: the NAS panel report. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2000; 31(3):280-5.

24. WHO, 2018. Contaminación atmosférica y salud infantil. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275548/WHO-CED-PHE-18.01-spa.pdf?ua=1>.

25. Pedersen, M.; Giorgis-Allemand, L.; Bernard, C.; Aguilera, I.; Andersen, A.M.; Ballester, F.; Beelen, R.M.; Chatzi, L.; Cirach, M.; Danileviciute, A.; et al, Ambient air pollution and low birthweight: A European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med*. 2013, 1, 695-704.

26. Sánchez Bayle M, Martín Martín R, Villalobos Pinto E. Impacto de la contaminación ambiental en los ingresos hospitalarios pediátricos: estudio ecológico. *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2019;21.

27. Bont J, Casas M, Barrera-Gómez J, Cirach M, Rivas E, Valvi D et al. Ambient air pollution and overweight and obesity in school-aged children in Barcelona, Spain. *Environment International* 2019; 125:58-64. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.048>.

28. Porta D, Narduzzi S, Badaloni C, Bucci S, Cesaroni G, Colelli V, et al. Air pollution and cognitive development at age 7 in a prospective Italian birth cohort. *Epidemiology*. 2016;27:228-36.

29. Sunyer J, Esnaola M, Alvarez-Pedrerol M, Fornis J, Rivas I, López-Vicente M, et al. (2015) Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLoS Med* 12.

30. Olsen J. Prenatal Exposures and Long Term Health Effects. *Epidemiol Rev*. 2000; 22(1).

31. Lacasana M, Esplugues A, Ballester F. Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects. *Eur J Epidemiol*. 2005; 20(2):183-99.

32. Mannes T, Jalaludin B, Morgan G, Lincoln D, Sheppard V, Corbett S. Impact of ambient air pollution on birth weight in Sydney, Australia. *Occup Environ Med*. 2005;62(8):524-30.

33. Ritz B, Wilhelm M, Hoggatt K J GJK. Ambient air pollution and preterm birth in the environment and pregnancy outcomes study at the University of California, Los Angeles. *Am J Epidemiol*. 2007; 166(9):1045-52.

34. Fernández-Somoano A, Llop S, Aguilera I, Tamayo-Uria I, Martínez MD, Foraster M, Ballester F and Tardón A. Annoyance Caused by Noise and Air Pollution during Pregnancy: Associated Factors and Correlation with Outdoor NO2 and Benzene Estima-

tions. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Jun; 12(6): 7044-7058.

35. Morales E, Garcia-Esteban R, de la Cruz OA, Basterrechea M, Lertxundi A, de Dicastillo MD, Zabaleta C, Sunyer J. Intrauterine and early postnatal exposure to outdoor air pollution and lung function at preschool age. *Thorax*. 2015 Jan; 70(1):64-73.

36. Arroyo V, Díaz J, Ortíz C, Carmona R, Sáez M, Linares C. Short term effect of air pollution, noise and heat waves on pre-term births in Madrid (Spain). *Environmental Research* 2016a; 145:162-168.

37. Arroyo V, Díaz J, Carmona R, Ortiz C, Linares C. Impact of air pollution and temperature on adverse birth outcomes: Madrid 2001-2009. *Environmental Pollution*. 2016b. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.08.069.

38. Arroyo V, Díaz J, Salvador P, Linares C. Impact of Air Pollution on Low Birth Weight in Spain: A National Level Study. *Environmental Research*. 2019a ;171:69-79. [doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.030](https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.030).

39. Arroyo V, Linares C, Díaz J. Premature Births in Spain: Measuring the impact of air pollution using time Series Analysis. *Science of the Total Environment*. 2019b ;660:105-114. [doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.470](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.470).

40. Selemon LD. A role for synaptic plasticity in the adolescent development of executive function. *Transl Psychiatry* 2013; 3:e238.

41. Erskine HE, Moffit TE, Copeland WE, et al, A heavy burden on young minds: the global burden of mental and substance use disorders in children and youth. *PsycholMed* 2015; May; 45(7):1551-63.

42. Guxens M, Lubczyńska MJ, Muetzel RL, Dalmau-Bueno A, Jaddoe VWV, Hoek G, et al., Air Pollution Exposure During Fetal Life, Brain Morphology, and Cognitive Function in School-Age Children. *Biol Psychiatry*. 2018 Aug 15;84(4):295-303.

43. WHO, 2018. Environmental Noise Guidelines for the European Region. <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>.

44. Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim TA, et al. Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. *Environ Health Perspect*. 2014 May;122(5):439-46. [doi: 10.1289/ehp.1206154](https://doi.org/10.1289/ehp.1206154).

45. Tobías A, Linares C, Díaz J. El ruido de tráfico, un importante problema de salud pública en las grandes ciudades: de la pérdida de audición a causa de riesgo de muerte. *Actuarios* 2013;33:29-30.

46. Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN). Ruido y Salud. Sevilla 2012.

47. World Health Organization. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Ginebra: World Health Organization, 2011.

48. Paunovic K, Jakovljevic B, Belojevic G. Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets. *Sci. Total Environ*. 2009;407:3707-11.

49. Maschke C. Excretion of Cortisol under Nocturnal Noise and Differences due to Analytic Techniques. *Noise Health* 2003;5(17):47-52.

50. Spreng M. Possible health effects of noise induced cortisol increase. *Noise Health* 2000;2(7):59-64.

51. Tobías A, Díaz J, Saez M et ál. Use of Poisson regression and Box-Jenkins models to evaluate the short-term effects of environmental noise levels on daily emergency admissions in Madrid, Spain. *Eur. J. Epidemiol*. 2001;17:765-71.

52. Linares C, Culqui DR, Carmona R, Ortiz C, Díaz J. Short-term association between environmental factors and hospital admissions due to dementia in Madrid. *Environment Research*. 2017; 152: 214-220. [doi: 10.1016/j.envres.2016.10.020](https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.10.020).

53. Linares C, Martínez-Martín P, Rodríguez-Blazquez C, MJ Forjaz, Quiroga B, , Ortiz C, Carmona R, Díaz J. Short-term association between road traffic noise and demand for health care generated by Parkinson's disease in Madrid. *Gaceta Sanitaria*. 2018; 32:553-558. [doi: 10.1016/j.envint.2016.01.017](https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.01.017)

54. Carmona R, Linares C, Recio A, Ortiz C, Díaz J. Daily hospital admissions by Multiple Sclerosis associate to chemical and acoustic air pollution in Madrid 2001-2009. *Science of the Total Environment*. 2018; 612:111-118.

55. Recio A, Linares C, Banegas JR, Díaz J. Impact of road traffic noise on cause-specific mortality in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment* 2017;590-591:171-173.

56. Tobías A, Díaz J, Saez M et ál. Use of Poisson regression and Box-Jenkins models to evaluate the short-term effects of environmental noise levels on daily emergency admissions in Madrid, Spain. *Eur. J. Epidemiol*. 2001;17:765-71.

57. Tobías A, Díaz J, Recio A, Linares C. Traffic Noise and Risk of Mortality from Diabetes. *Acta Diabetologica*. 2015a; 52: 187-188.

58. Tobías A, Recio A, Díaz J, Linares C. Health impact assessment of traffic noise. *Environmental Research*, 2015b;137:136-140.

59. Díaz J, Linares C. Traffic noise and adverse birth outcomes in Madrid: A time-series analysis. *Epidemiology*. 2016; 27:e2-e3.

60. Ruiz R, Díaz J, López-Bueno JA, Asensio C, Saez M, Navas MA, Linares C. Short term effect of air pollution and noise on hospital admissions in Madrid: A economic estimation. *Science of the Total Environment*. 2023. In press.





# Temperaturas extremas y riesgos para la salud

Las olas de calor agravan enfermedades crónicas y trastornos mentales

## Cristina Linares Gil

Codirectora de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano. Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III

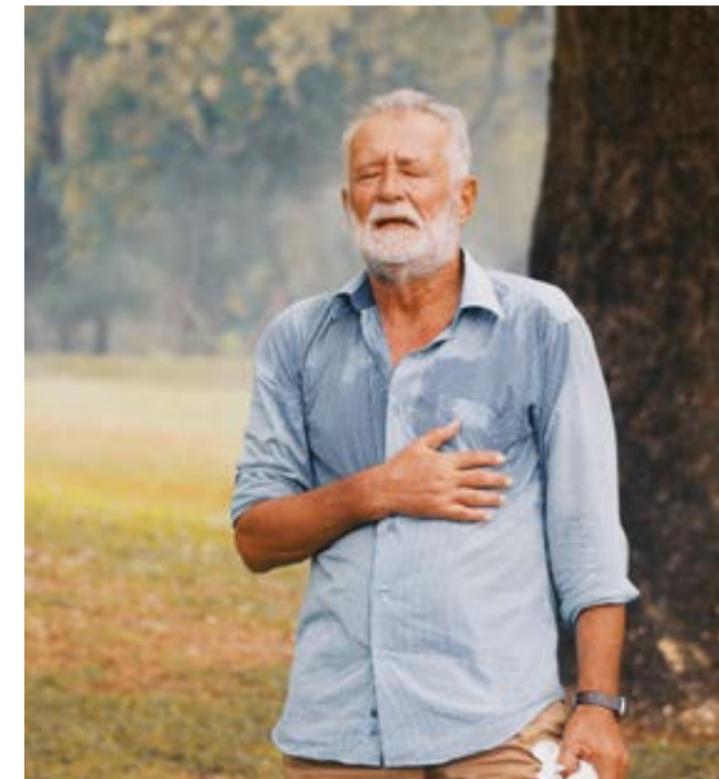
España ha soportado este julio de 2022 el mes más caluroso de la historia, según datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).<sup>(1)</sup> La temperatura media fue la más alta registrada en el país no solo en julio, sino en cualquier mes desde que hay registros, es decir, desde 1961. Las elevadas temperaturas que han afectado a la Península y Baleares fueron las más importantes desde que hay registros. Han sido las más intensas y las más extensas

(con 40 provincias afectadas) y las segundas más largas de la serie histórica, con una duración de 18 días. En Canarias se produjeron dos olas de calor a lo largo de julio. A nivel mundial, julio de 2022 fue uno de los tres julios más cálidos registrados, cerca de 0,4°C por encima del período de referencia 1991-2020, ligeramente más frío que julio de 2019 y ligeramente más cálido que julio de 2016.

Las olas de calor cada temporada estival serán más intensas y frecuentes, este hecho no es novedoso, es una tendencia global ya alertada y consensuada hace muchos años por la comunidad científica en diferentes informes y publicaciones internacionales (Romanello *et al.* 2021). Por otra parte, desde el punto de vista de la salud, hay que distinguir el impacto del calor en lo que se denomina “golpe de calor” y la morbi-mortalidad atribuible a este calor. Es decir, el golpe de calor es el efecto más inmediato sobre las personas, pero los efectos en salud de las altas temperaturas van mucho más allá abarcando un amplio rango de afectaciones en salud. El mayor impacto atribuible a las olas de calor se relaciona con el agravamiento de otras patologías ya existentes, fundamentalmente cardiovasculares y respiratorias, si bien se ha encontrado incremento en la mortalidad por causas renales, gastrointestinales e incluso neurológicas. Los grupos especialmente susceptibles son las personas mayores de 65 años, en especial las mujeres mayores de 75 años (Díaz *et al.* 2015). Normalmente, los efectos del calor ocurren a muy corto plazo, desde el mismo día que se produce la ola de calor hasta 4 o 5 días después.

## Personas vulnerables y grupos de riesgo

Por otro lado, se ha encontrado asociación entre el incremento de las temperaturas y el número de partos que se producen, así como con el número de nacidos con bajo peso y partos prematuros (Arroyo *et al.* 2016). Por tanto, las mujeres embarazadas deben considerarse también un grupo de especial riesgo en olas de calor. El grupo de personas que trabajan en el exterior y las personas que realizan ejercicio al aire libre durante las horas más calurosas del día también son grupos especialmente vulnerables. Actualmente, uno de los campos con mayor interés científico es el de la influencia de los efectos de las altas temperaturas sobre la salud mental de las poblaciones afectadas, constituyendo una parte importante de la carga de enfermedad asociada a los efectos del cambio climático (Massazza *et al.* 2022). La evidencia científica se va acumulando en torno a los trabajos que encuentran asociaciones robustas entre los episodios de olas de calor y el aumento de desórdenes emocionales y del comportamiento (incremento de la violencia y abuso de sustancias tóxicas: alcohol, medicamentos, drogas), así como un aumento de la tasa de suicidios durante episodios de temperaturas extremas y sequía. Los grupos de población altamente vulnerables serían, principalmente, las personas que ya padecen una enfermedad mental y especialmente, la población anciana que fisiológicamente ya padece una peor termorregulación y además se encuentran poli medicadas en la mayoría de los casos, ya que padecen enfermedades asociadas (diabetes, hipertensión).



El calor extremo agrava patologías ya existentes, fundamentalmente cardiovasculares y respiratorias

## Las altas temperaturas provocan numerosas afectaciones a la salud aparte de los golpes de calor

Además, las personas mayores o enfermas que viven solas deben ser visitadas de forma diaria durante los episodios de calor excepcional. Si una persona utiliza o requiere medicamentos, debe, además, consultar con su médico sobre los efectos del calor extremo y de los medicamentos (especialmente diuréticos, fármacos anticolinérgicos, antipsicóticos, anti convulsionantes, anti-depresivos, etc.) Las condiciones de salud preexistentes son muy importantes a la hora de prevenir los efectos de las altas temperaturas sobre la salud, presentan mayor riesgo personas que presenten:

- Diabetes y que padecen otras enfermedades endocrinas
- Hipertensión e insuficiencia cardiaca
- Asma o Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

- Insuficiencia renal y cálculos renales
- Enfermedad de Parkinson, epilepsia, demencia y depresión
- Enfermedades agudas como diarrea
- Discapacidades físicas o cognitivas
- Obesidad

### Altas temperaturas y salud en entorno urbano

En las ciudades, los efectos en la salud pueden agravarse especialmente por mayores diferencias socioeconómicas, inadecuadas condiciones de la vivienda y además la mayor exposición a los contaminantes atmosféricos. Las po-

### Los efectos en la salud se agravan por las diferencias socioeconómicas y la mayor exposición a los contaminantes atmosféricos

blaciones con bajo poder adquisitivo viven generalmente en peores viviendas en el centro de las ciudades, aumentando su vulnerabilidad a las altas temperaturas. El denominado efecto de ‘isla de calor urbana’ se define como el aumento de las temperaturas de las zonas urbanas más pobladas en comparación a sus entornos rurales o suburbanos (Ward *et al.* 2015). Esto se debe a que durante el día los edificios y otras superficies (como el asfalto) absorben el calor, que se libera luego lentamente durante



En las ciudades los efectos en la salud pueden agravarse por inadecuadas condiciones de la vivienda

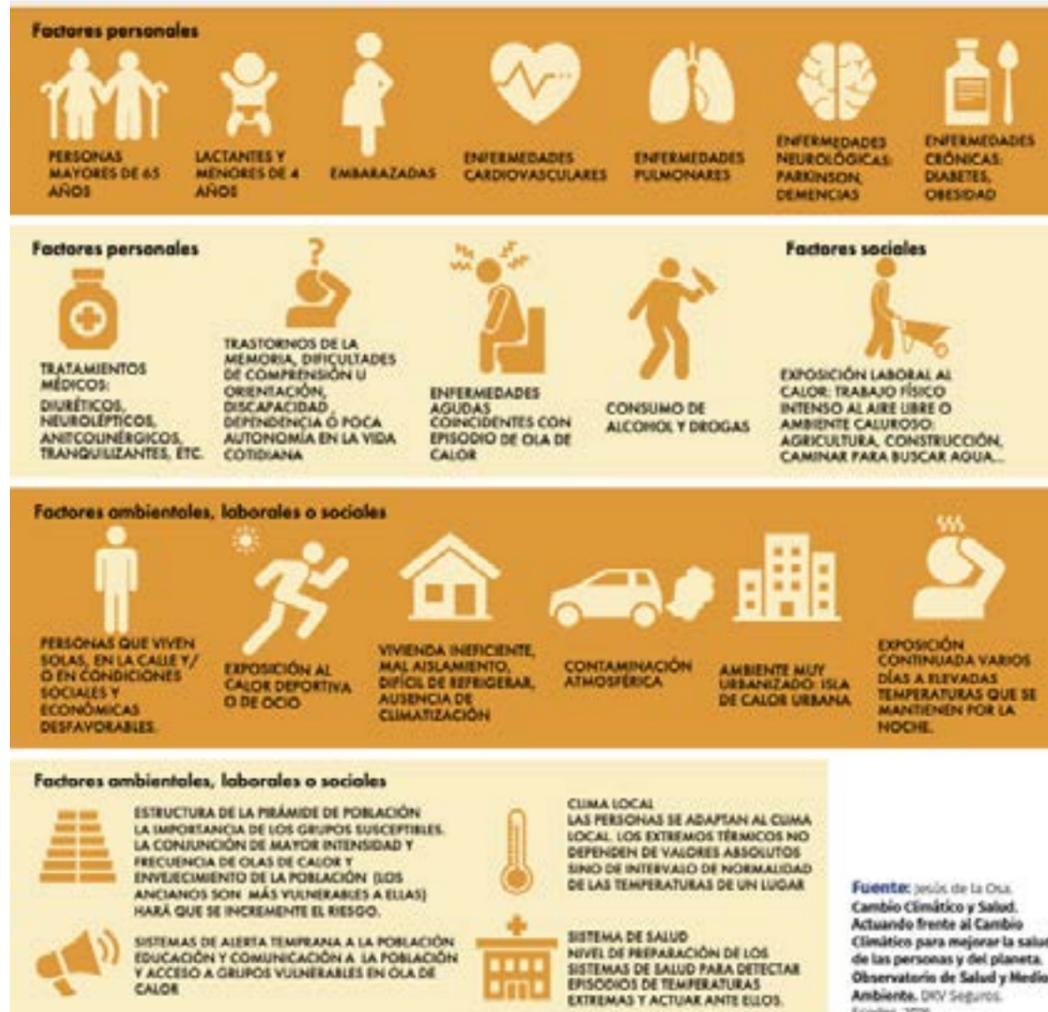


Figura 1. Factores de vulnerabilidad frente a las olas de calor

la noche. Es un fenómeno que se detecta en las temperaturas nocturnas, es decir, en las temperaturas mínimas, y que puede hacer que estas temperaturas dentro de las ciudades puedan ser entre 0,4°C y 12°C superiores a las zonas rurales circundantes. La intensidad del efecto isla de calor depende de muchos factores, entre ellos las condiciones meteorológicas locales, pero también de las características urbanas, como el porcentaje de asfalto en las ciudades, el calor generado por los vehículos, los aires acondicionados, la existencia de instalaciones industriales y, por supuesto, la falta de vegetación.

Los efectos en salud están relacionados con la acumulación de molestias más o menos graves originadas con la falta de descanso que se produce durante la noche, fenómenos que pueden ir desde un aumento de irritabilidad a la descompensación en algunas patologías de tipo crónico, generando un estrés sistémico importante en las personas afectadas, especialmente —como se ha descrito anteriormente— dependiendo de su estado basal de salud.

### Planes de prevención

El Plan Nacional de Actuaciones Preventivas por Altas Temperaturas<sup>(2)</sup> perteneciente al Ministerio de Sanidad forma parte del Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente (PESMA)<sup>(3)</sup> se pone en marcha a nivel estatal cada temporada estival, a partir del 15 de mayo. En gran parte de los países europeos, entre ellos España, estos planes



El rediseño urbano, por ejemplo con cubiertas verdes, es necesario para disminuir el efecto del calor

### Urge adoptar medidas de mitigación y adaptación para evitar que el impacto de las olas de calor sobre la población vulnerable aumente



Los efectos del calor provocan la acumulación de molestias con la falta de descanso que se produce durante la noche

de prevención en salud pública están puestos en marcha desde el año 2004 para minimizar los efectos de las temperaturas extremadamente altas sobre la salud (Robineet al. 2008). Estos planes han conseguido que las muertes

atribuibles al calor en Europa en personas más vulnerables (mayores de 65 años), no se vean incrementadas en los últimos años, a pesar de que alcanzaron un máximo histórico estimado en 345 000 muertes en 2019 en todas las regiones de la OMS (Romanello et al. 2021).

El Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos por Altas Temperaturas está basado en la superación de un umbral específico de temperaturas diarias a partir de las cuales se produce un incremento de la mortalidad de forma estadísticamente significativa. La determinación de estas temperaturas umbrales, junto con el cálculo del riesgo asociado por cada grado en que la temperatura máxima diaria supera esa temperatura umbral, ha permitido calcular cuál es la mortalidad atribuible a las olas de calor en España. En la década 2000-2009, en las 52 provincias y ciudades autónomas españolas, se produjeron 4 400 días con ola de calor, con una mortalidad atribuible de 13 000 muertes, por lo que la mortalidad diaria representa una mortalidad media de 3 muertes/día atribuible a las olas de calor, de media provincial (Díaz et al. 2015). Es decir, si hay 30 provincias con ola de calor hay un exceso de 90 muertes sólo en un día.

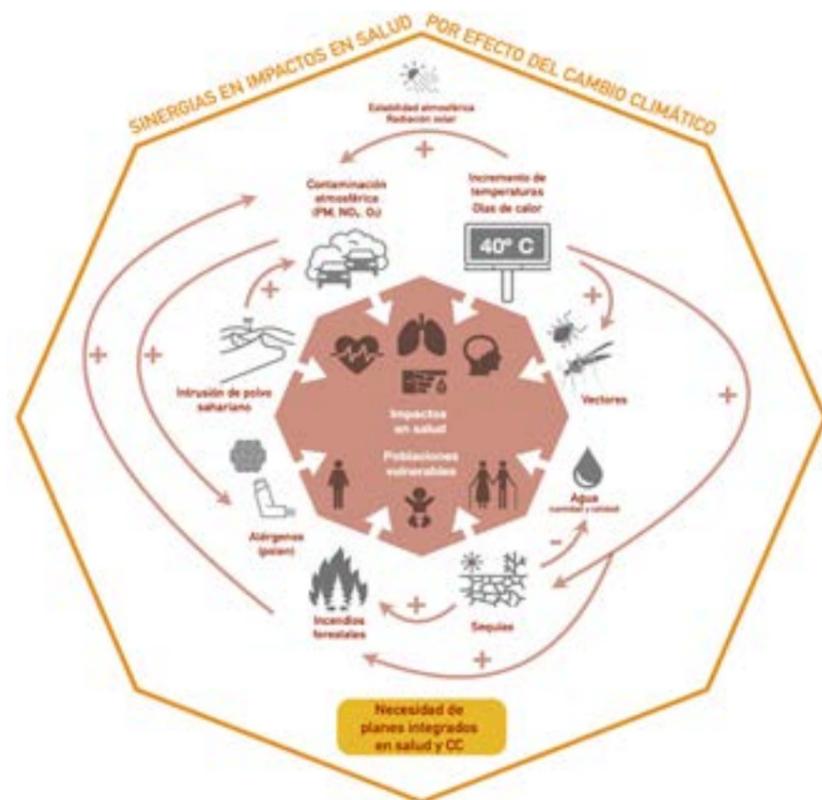


Figura 2. Sinergias en impactos en salud por efectos del cambio climático y necesidad de planes integrados. Fuente: Fragmento de infografía original inédita de J. de la Osa (2020) a partir del artículo de C.Linares, G.S.Martinez, V.Kendrovski, J.Diaz. A new integrative perspective on early warning systems for health in the context of climate change. Environmental Research. Volume 187, August 2020, 109623



Las mujeres embarazadas y los niños son especialmente sensibles a las altas temperaturas continuadas

### Medidas de adaptación

El reto se basa ahora en que esa mortalidad atribuible a las altas temperaturas no se incremente con el aumento de la temperatura debido al calentamiento global. Deberíamos articular las medidas de mitigación y adaptación que sean necesarias para evitar que el impacto de las olas de calor sobre la población vulnerable aumente. Entre las medidas de adaptación se encuentran: diseño de implementación de planes de prevención locales adaptados a cada área geográfica en base a sus características sociodemográficas; inversión en la creación de refugios climáticos de carácter público; rediseño urbano para la disminución de los impactos del calor en las ciudades —especialmente— y del efecto isla térmica, mediante las siguientes acciones: aumentar el albedo (radiación no absorbida, proporción entre la energía luminosa que incide y la que se refleja) de los edificios y del suelo, incluir tejados o cubiertas verdes en los edificios, aumentar las zonas verdes como parques, arbolado, etc. y crear “zonas azules” como lagos, fuentes, estanques y demás entornos hídricos.

### El comportamiento extremo de las olas de calor en todo el mundo ha sorprendido a la ciencia

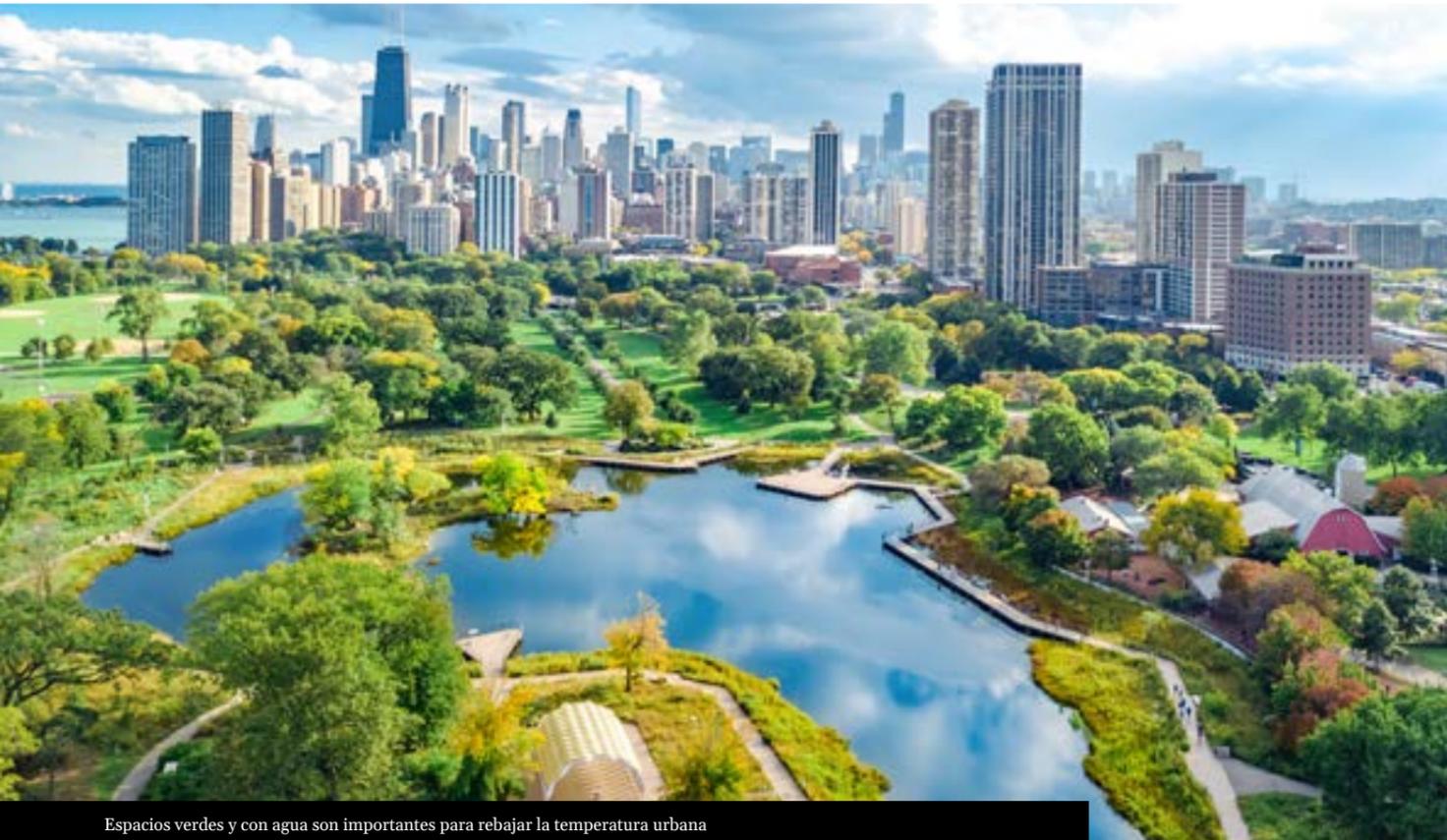
Desde el punto de vista de la salud sería necesario elaborar y desarrollar, e implementar, planes nacionales de adaptación al cambio climático en salud. Esto implica la detección geográfica de vulnerabilidades según su grado de impacto. Descender a nivel local es fundamental para

adaptarse a las características sociodemográficas heterogéneas de la población y realizar evaluaciones de riesgos de los efectos del cambio climático a nivel local en relación a factores de salud de la población. También diseñar y desarrollar planes integrados —que aborden los impactos sinérgicos en salud de distintos factores ambientales que potencian los impactos del cambio climático (contaminación atmosférica, intrusiones de polvo, sequías, incendios forestales...) en vez de ser abordados de manera individual— y reforzar el sistema de salud y las infraestructuras de salud para que sean resilientes a los impactos de la crisis climática y puedan seguir proporcionando servicios de salud a la población incluso en momentos críticos.

Otro aspecto importante es que se debería incrementar el gasto en programas y actividades de educación ambiental y educación para la salud relacionadas con la salud y la adaptación de la población a las temperaturas extremas, explicando no sólo lo que ocurre sino por qué se ha producido esta crisis climática e informar de los numerosos cobeneficios de la acción climática en la salud y el bienestar de las poblaciones —y utilizarlo como argumento de acción climática— dando prioridad a las intervenciones con mayores beneficios sanitarios, sociales y económicos.

### Acciones preventivas

El comportamiento extremo de las olas de calor de este verano alrededor del mundo ha sorprendido a científicos y administraciones competentes en salud pública y empieza a emerger la pregunta de si hay ciertas actuaciones a nivel preventivo que deberían mejorarse porque, en el caso de



Espacios verdes y con agua son importantes para rebajar la temperatura urbana



Hidratarse es fundamental en los trabajos al exterior durante las horas calurosas

las olas de calor al menos, parece que los modelos climáticos no están captando o se quedan “cortos”<sup>(4)</sup>. Entre estas actuaciones a nivel preventivo que debería de actualizarse en el citado Plan Nacional de Actuaciones Preventivas por Altas Temperaturas, podrían enumerarse las siguientes:

- Valorar el inicio de puesta en marcha del Plan en función de los niveles de temperaturas máximas previstas (a veces, como este año, las temperaturas elevadas se alcanzan antes del 15 de mayo y la primera ola de calor del año es la más peligrosa desde el punto de vista de los efectos en salud).<sup>(5)</sup>
- Determinar las temperaturas máximas diarias de definición de ola de calor a nivel provincial e isoclimático con datos de mortalidad y temperatura actualizados.
- Unificar las definiciones de ola de calor entre la agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el Ministerio de Sanidad, lo que facilitaría la comprensión de la población de los niveles de riesgo establecidos desde el punto de vista de la salud.
- Establecer protocolos de actuación para los grupos especialmente vulnerables (no solo citarlos).

- Integrar en el Plan otros factores de riesgo asociados a las olas de calor que inciden en la morbilidad y cómo gestionar estos impactos desde el punto de vista de la salud pública, por ejemplo:
  - Aumento de la morbilidad por contaminación debida a O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y NO<sub>2</sub>
  - Aumento de los incendios forestales
  - Aumento de las sequías
  - Incremento en las enfermedades transmitidas por vectores
  - Incremento en las enfermedades transmitidas por agua con temperatura especialmente elevada
  - Incremento en las enfermedades transmitidas por alimentos
  - Incremento de las enfermedades transmitidas por disminución en la calidad del agua

## BIBLIOGRAFÍA y referencias

1. [\(https://aemetblog.es/2022/08/19/espana-camino-del-verano-mas-calido-de-su-serie-historica/\)](https://aemetblog.es/2022/08/19/espana-camino-del-verano-mas-calido-de-su-serie-historica/)
2. <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2022/home.htm>
3. <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pesma/home.htm>
4. <https://www.nature.com/articles/d41586-022-02114-y>
5. <https://aemetblog.es/2022/08/08/verano-de-2022-el-mas-calido-en-espana-hasta-finales-de-julio/>
6. Arroyo V, Díaz J, Ortíz C, Carmona R, Sáez M, Linares C. Short term effect of air pollution, noise and heat waves on preterm births in Madrid (Spain). *Environmental Research* 2016; 145:162-168. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.034>.
7. Díaz J, Carmona R, Mirón IJ, Ortiz C, León I, Linares C. Geographical variation in relative risks associated with heat: Update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *EnvironInt.* 2015; 85:273-83.
8. Díaz J, Carmona R, Mirón IJ, Ortiz C, León I, Linares C. Geographical variation in relative risks associated with heat: Update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environ Int.* 2015; 85:273-83. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.022>.
9. Massazza A, Teyton A, Charlson F, Benmarhnia T, Augustinavicius JL. Quantitative methods for climate change and mental health research: current trends and future directions. *Lancet PlanetHealth* 2022; 6: e613-27. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00120-6).
10. Robine J-M, Cheung S, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel J-P, et al. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003 / Plus de 70 000 décès en Europe au cours de l'été 2003. *Comptes rendus biologies.* 2008; 331(2):171-178. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2007.12.001>.
11. Romanello M, McGushin A, Di Napoli C, et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *Lancet* 2021; published online Oct 20. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6).
12. Ward K, Lauf S, Kleinschmit B, Endlicher W. Heatwaves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of The Total Environment*, Volumes 569-570, 2016, Pages 527-539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>.

# Radiación solar ultravioleta: riesgos y beneficios

Marín M.J.<sup>1</sup>, Estellés V.<sup>2</sup>, Gómez-Amo, J.L.<sup>2</sup>  
y Utrillas M.P.<sup>2</sup>

Grupo de Radiación Solar de Valencia.

(1) Departament de Matemàtiques per a l'Economia i l'Empresa.

(2) Departament de Física de Terra i Termodinàmica.

El sol es la fuente más fuerte de radiación ultravioleta en nuestro entorno. El espectro de radiación ultravioleta (UV) se divide en tres regiones denominadas UVA, UVB y UVC según su longitud de onda. Difieren en su actividad biológica y en la medida en que pueden penetrar en la piel. Cuanto más corta es la longitud de onda, más dañina es la radiación UV.

La UVC (100-280 nm) es el tipo de radiación UV más dañino. Sin embargo, es filtrado completamente por la atmósfera y no llega a la superficie terrestre. La UVB (280-315 nm) es biológicamente muy activa pero no puede penetrar más allá de las capas superficiales de la piel. Es responsable del bronceado tardío y de la quemadura solar o eritema; además de estos efectos a corto plazo, potencia el envejecimiento de la piel y promueve significativamente el desarrollo de cáncer de piel. La mayor parte de los rayos UVB solares son filtrados por la atmósfera. Los rayos UVA (315-400 nm) representan aproximadamente el 95 % de la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra. Puede penetrar en las capas más profundas de la piel y es responsable del efecto bronceador inmediato. Además, también produce envejecimiento de la piel y arrugas.

**A medida que la capa de ozono disminuye, personas y medio ambiente están expuestos a niveles más altos de radiación UV**

## Factores que influyen en la intensidad

El proceso más importante que sufre la radiación solar UV en la atmósfera terrestre es la absorción por las moléculas de ozono. A medida que la capa de ozono, situada en la estratosfera, disminuye, las personas y el medio ambiente están expuestos a niveles más altos de radiación UV, especialmente UVB.

El agotamiento de la capa de ozono está causado por sustancias químicas creadas por el hombre que se liberan a la atmósfera y continuará hasta que se reduzca drásticamente el uso de compuestos de cloro y bromo. Los acuerdos inter-

nacionales, en particular el Protocolo de Montreal, están logrando gradualmente eliminar la producción de sustancias que agotan la capa de ozono. Sin embargo, los productos químicos ya liberados presentan una elevada vida media de permanencia en la atmósfera, lo que significa que es necesario que transcurran varias décadas sin emisiones para que sus concentraciones vuelvan a niveles adecuados. No se espera una recuperación total del nivel de ozono hasta 2050.

Además del ozono estratosférico, existen otros factores que influyen en la intensidad de la radiación UV que incide finalmente a nivel de suelo, como la latitud, la elevación del sol o altura solar, la nubosidad, la altitud del lugar y la reflectividad del suelo (fig. 1).



La posición geográfica del lugar considerado es determinante, ya que los rayos solares inciden de forma más perpendicular cuanto más cerca del Ecuador nos encontremos. Asimismo es importante la posición del Sol, variando según el día del año y la hora. Se recibe un porcentaje mucho mayor de radiación solar UV en verano y en horas centrales del día. Los niveles de UV son más altos con cielos despejados y la nubosidad generalmente reduce la intensidad, especialmente con nubes bajas. Sin embargo, las nubes ligeras o delgadas, nubes altas, pueden aumentar los niveles de UV debido a la dispersión. Con el aumento de la altitud sobre el nivel del mar, los niveles de UV aumentan ya que recorren menos atmósfera y por tanto se absorben en menor medida. Muchas superficies reflejan la radiación UV y se suman a los niveles generales de UV. Esto debe tenerse en cuenta especialmente en superficies altamente reflectantes como la nieve.



Figura 1. Atenuantes de la radiación solar UV. (Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS), 2003)

## Efectos nocivos y beneficiosos

Los efectos nocivos de la radiación UV en seres humanos se manifiestan principalmente sobre la piel, los ojos y el sistema inmunológico. El efecto inmediato debido a una exposición intensa son el eritema, la inmunosupresión y el fotoenvejecimiento cutáneo. De entre todos los efectos adversos derivados de la exposición excesiva a radiación UV, el cáncer de piel es el más preocupante.

### Cáncer de piel

A nivel mundial, en 2020, se diagnosticaron más de 1,5 millones de casos de cáncer de piel y se notificaron más de 120 000 muertes asociadas al cáncer de piel. Aunque en España, debido a la latitud, la dosis de radiación UV natural es de las más altas de Europa, la incidencia de cáncer de piel es significativamente menor a otros países de latitudes más altas. Sin embargo, sigue siendo un gran problema de salud pública.

Los cánceres de piel pueden ser melanoma o no melanoma. Los cánceres de piel no melanoma comprenden carcinomas de células basales, un cáncer de piel de crecimiento lento que aparece predominantemente en personas mayores y carcinomas de células escamosas, un cáncer maligno, que generalmente se disemina menos que el melanoma y es menos probable que cause la muerte. Los cánceres de piel no melanoma son más frecuentes en las partes del cuerpo que comúnmente están expuestas al sol, como las orejas, la cara, el cuello y los antebrazos. Respecto al melanoma maligno, aunque mucho menos frecuente que los cánceres de piel no melanoma, es la principal causa de muerte por cáncer de piel. La incidencia de melanoma maligno en poblaciones blancas generalmente aumenta con la disminución de la latitud, con la incidencia más alta registrada en Australia, donde las tasas anuales son 10 y más de 20 veces las tasas en Europa para mujeres y hombres, respectivamente.

### La prevalencia del cáncer de piel por causa del sol es un gran problema de salud pública

Debido a su relativa falta de pigmentación de la piel, las poblaciones caucásicas generalmente tienen un riesgo mucho mayor de contraer cánceres de piel que las poblaciones de piel oscura. La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica el tipo de piel o fototipo según si se quema tras una exposición solar o se broncea (tabla 1). Cuanto menor

Tipo de piel	¿Se quema con el sol?	¿Se broncea con el sol?
I	Siempre	Rara vez
II	Normalmente	A veces
III	A veces	Normalmente
IV	Rara vez	Siempre
V	Piel morena	
VI	Piel negra	

Tabla 1.-Fototipo según su reacción a los rayos solares. (Fuente: OMS, 2003).

es el fototipo mayor es el riesgo de padecer cáncer de piel. La población española en su mayoría pertenece a un fototipo II- III, es decir, padece un riesgo medio.

### Eritema o quemadura solar en la piel

El efecto agudo mejor conocido de la exposición excesiva a los rayos UV es el eritema, el familiar enrojecimiento de la piel denominado quemadura solar. Otro efecto adaptativo menos obvio es el engrosamiento de las capas más externas de la piel que atenúa la penetración de los rayos UV en las capas más profundas de la piel. Ambos cambios son un signo de daño en la piel.

La exposición crónica a la radiación ultravioleta también provoca una serie de cambios degenerativos en las células, el tejido fibroso y los vasos sanguíneos de la piel. Estos in-

cluyen áreas pigmentadas, envejecimiento prematuro de la piel y la pérdida gradual de su elasticidad.

### Daños en los ojos

La exposición a la radiación UV pueden producir en los ojos fotoqueratitis y fotoconjuntivitis. Estas reacciones inflamatorias son comparables a una quemadura solar en la piel pero en los tejidos del globo ocular y los párpados, que son muy sensibles y generalmente aparecen a las pocas horas de la exposición solar.

La exposición a los rayos UVB parece ser un factor de riesgo importante para el desarrollo de cataratas. A nivel mundial, se estima que 15 millones de personas están ciegas a causa de las cataratas; de estos, alrededor del 10 % puede deberse a la exposición a los rayos UV.



El efecto agudo mejor conocido de la exposición excesiva a los rayos UV es el eritema

### Daños en el sistema inmunológico

Cada vez hay más pruebas de un efecto inmunosupresor sistemático de la exposición a la radiación UV tanto aguda como en dosis bajas. En consecuencia, la exposición al sol puede aumentar el riesgo de infección por infecciones virales, bacterianas, parasitarias o fúngicas.

### Producción de la vitamina D

El mayor beneficio de la exposición a la radiación UV es la síntesis de vitamina D. La vitamina D fortalece los huesos



Los carcinomas basocelulares son frecuentes en las zonas del cuerpo más expuestas



La exposición al sol sin protección provoca el envejecimiento de la piel

y el sistema musculoesquelético. En los últimos años se ha descubierto que la deficiencia de vitamina D está relacionada no solamente con el raquitismo y osteoporosis sino con enfermedades de los sistemas cardiovascular, digestivo y nervioso. Las personas que tienen una exposición solar muy baja, deben tomar un suplemento de vitamina D. Es necesario, por tanto, determinar la cantidad de radiación solar UV que representa un balance equilibrado entre evitar el cáncer de piel y mantener la suficiente producción de vitamina D. La exposición que proporcione el nivel adecuado de vitamina D debe ser menor a la exposición con riesgo de eritema.

### Cómo cuantificar los efectos de la radiación solar UV

#### Espectros de acción

Para cuantificar los efectos biológicos de la radiación ultravioleta es necesario conocer la respuesta de los organismos vivos cuando incide sobre ellos esta radiación. La curva que representa esta respuesta se llama espectro de acción.

La respuesta de la piel al eritema es el espectro de acción eritemático. La Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE) adoptó en 1987 una curva estándar de eritema. La curva de acción eritemática es la recomendada actualmente para la determinación de la radiación UV Eritemática (UVER) (fig. 2). El espectro de acción muestra un descenso brusco a partir de los 300 nm siendo la efectividad eritemática del orden de 3 órdenes de magnitud menor, lo que justifica la afirmación de que es necesaria una dosis unas 1 000 veces mayor de UVA para que cause los mismos efectos sobre la piel que la radiación UVB.

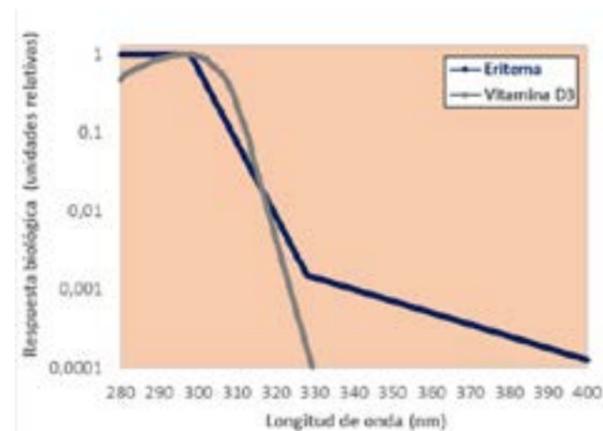


Figura 2.- Espectro de acción eritemática y de la producción de la previtamina D3 en la piel humana. Nótese la escala logarítmica en el eje vertical de la gráfica. (Fuente: Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE), 1998, 2006)



La previtamina D3 se forma en la piel humana, bajo la acción de la radiación UV, a partir del 7-dehidrocolesterol (7 DHC) y es precursora de la vitamina D. Las longitudes de onda óptimas están en el intervalo 295 - 300 nm (65 % del 7 DHC). El efecto de la radiación UV sobre la producción de vitamina D se expresa en términos de un espectro de acción simple, que representa la producción de previtamina D3 en la piel humana (fig. 2).

### Índice UV

El Índice UV (UVI) es una medida que tiene como finalidad informar y concienciar a la opinión pública, mediante su divulgación en medios de comunicación, del nivel de UVER incidente y de los posibles efectos nocivos para la salud. Cuanto mayor sea el valor de UVI, mayor será el potencial daño en la piel y los ojos y menos tiempo tardará en producirse.

La Organización Mundial de la Salud, en su Guía 'UV' propone distintas categorías de la exposición solar en función del valor del Índice UV y supone una estandarización del mismo (fig. 3).

Con un UVI igual a 3 o superior se recomienda protegerse de la radiación solar UV con las medidas de protección siguientes: limitar el tiempo bajo el sol del mediodía (se deben evitar al menos dos horas antes y después del mediodía

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL UVI
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Figura 3.- Categoría de exposición solar en función del valor de UVI. (Fuente: OMS, 2003)



Figura 4.- Medidas de fotoprotección según el UVI. (Fuente: OMS, 2003)

solar), permanecer en la sombra, usar sombrero de ala ancha para proteger los ojos, la cara, las orejas y el cuello, usar gafas de sol con protección UVA y UVB y cubrirse con ropa (fig. 4). En las áreas de la piel sin cubrir con la ropa se puede utilizar protector solar teniendo en cuenta que no deben usarse para prolongar el tiempo que se pasa bajo el sol.

## Efectos inmediatos tras una exposición intensa a UV: eritema, inmunosupresión y fotoenvejecimiento cutáneo

Por otra parte, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) incluye la radiación UV como parámetro meteorológico de la predicción diaria (fig. 5). Por ello, las líneas de intervención propuestas en esta área siguen la senda de normalizar el Índice UV para la concienciación de la población y la equiparación de la legislación española sobre la radiación UV a la de países de nuestro entorno que han atajado el riesgo de este factor ambiental. De esta manera, se pretende contribuir al ODS 3 de salud y bienestar y su meta de reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles.

Este año 2022, coincidiendo con el primer día de verano en el hemisferio norte, la OMS ha lanzado la aplicación *SunSmart Global* que permite ver el índice UV máximo previsto para los próximos cuatro días, así como la franja horaria en las que se recomienda tomar medidas de fotoprotección para la ubicación elegida (fig. 6).

### Dosis adecuada de vitamina D

Al contrario que ocurre con el eritema y el UVI, no existe una estandarización que permita conocer de forma sencilla el tiempo necesario de exposición solar para la producción suficiente de vitamina D sin que implique un riesgo



Figura 5.- Predicción del UVI máximo previsto para el 19/7/2022. (Fuente: AEMET, 2022)

de quemadura. La dosis diaria de vitamina D recomendada está entre 400 y 1000 UI. Estas recomendaciones deben tener en cuenta el estado de salud de cada individuo, la edad, el peso corporal, la dieta y las condiciones climáticas del sitio en el que vive. Se sabe que una exposición que una exposición de cuerpo entero con fototipo I bajo condiciones de mucho sol (UVI = 10) produce 1000 UI en menos de 1 minuto. A pesar del argumento anterior, existe una amplia evidencia de que la población no recibe suficiente UV para mantener niveles óptimos de vitamina D. Esto puede ser en parte debido a nuestro estilo de vida, donde la exposición al aire libre es insuficiente, sobre todo en invierno, cuando las bajas temperaturas limitan



Figura 6.- Aplicación para dispositivos móviles SunSmart Global. Captura de pantalla para Valencia el 25/7/2022. (Fuente: OMS, 2022)

Esta semana				
Adopción de medidas de protección solar recomendadas				
Día	Mín.	Máx.	Protección	UV
lun.	23°	33°	10:10-17:50	5
mar.	26°	30°	10:10-17:50	5
mié.	25°	31°	10:10-17:50	5
jue.	26°	31°	10:10-17:50	5
vie.	26°	31°	-	-
sáb.	-	-	-	-
dom.	-	-	-	-



La protección con crema solar y gafas es muy importante en los niños

la exposición solar a las manos y la cara. Para que el público pueda tomar decisiones para mantener la vitamina D sin riesgo, es esencial que tengan acceso a la información UV durante todo el año, durante todo el día y para todas las condiciones del cielo.

**La exposición a los rayos UVB parece ser un factor de riesgo importante para el desarrollo de cataratas**

## REFERENCIAS

1. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (19/07/2022). *Predicción de Radiación Ultravioleta*. <https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/radiacionuv?w=0&zona=penyb&datos=img>
2. CIE (1998). *Erythema reference action spectrum and standard erythema dose*. Vienna, Austria. ISO 17166:1999/CIE S007-1998.
3. CIE (2006). *Action Spectrum from the Production of Previtamin D3 in Human Skin*. Publication No. CIE 174), Vienna, Austria.
4. McKenzie, R.L., et al., (2008). UV Radiation: Balancing Risks and Benefits. *Photochemistry and Photobiology*, 85: 88-98. DOI: 10.1111/j.1751-1097.2008.00400.x.
5. Ministerio de Sanidad (20/07/2022). *Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente 2022-2026*. (págs. 125-129) [https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pesma/docs/241121\\_PESMA.pdf](https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pesma/docs/241121_PESMA.pdf).
6. OMS (2003). *Índice UV Solar Mundial: Guía Práctica*, 28 pp., Ginebra, Suiza. <http://www.who.int/uv>.
7. OMS (19/07/2022). *Ultraviolet Radiation*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>.
8. OMS (25/07/2022). La aplicación SunSmart Global UV ayuda a protegerse de los peligros de la exposición al sol y promueve la salud pública. <https://www.who.int/es/news/item/21-06-2022-sunsmart-global-uv-app-helps-protect-you-from-the-dangers-of-the-sun-and-promotes-public-health>.



La OMS recomienda que el sol se tome en las primeras horas de la mañana y en las últimas de la tarde, evitando el mediodía



# Cambio climático y seguridad alimentaria

*Estado de conocimiento actual sobre la influencia del cambio climático en la seguridad alimentaria de la producción de alimentos y su salubridad*

**Isidro J. Mirón Pérez**

Veterinario y doctor en Epidemiología y Salud Pública  
Consejería de Sanidad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

El concepto “seguridad alimentaria” puede entenderse como seguridad en la provisión o abastecimiento de alimentos o bien referirse a la salubridad o higiene de los alimentos, que tiene que ver con la contaminación (biótica o abiótica) de éstos. Así, cuando se realiza una búsqueda bibliográfica sobre la relación entre cambio climático y seguridad alimentaria la mayoría de los trabajos que se encuentran se refieren a la seguridad alimentaria en cuanto a la provisión o producción de alimentos. No obstante, en la mayoría de países de habla hispana, cuando quieren referirse a la salubridad o higiene de los alimentos se emplea el término “inocuidad alimentaria”.

En todo caso, empleando los términos de búsqueda bibliográfica apropiados, tanto en español como en inglés, hay muchos menos artículos publicados sobre inocuidad alimentaria que sobre la seguridad en la provisión de alimentos. Tanto es así, que la revisión bibliográfica que es hoy referencia sobre los efectos del cambio climático para científicos y poderes públicos, los informes del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) solo suelen referirse en su análisis sobre seguridad alimentaria al concepto de producción de alimentos, trasladando lo referido a los riesgos por enfermedades transmitidas por alimentos a unos breves párrafos en otra parte del informe.

## La elevación de la temperatura media global produciría un mayor riesgo potencial de enfermedades de transmisión alimentaria

En el sexto informe del IPCC <sup>(1)</sup> se contemplan varios escenarios de emisiones, de manera que las proyecciones sobre concentración de CO<sub>2</sub> para el año 2100 en un escenario de bajas emisiones (Representative Concentration Pathways, RCP 2.6) es de 446 ppm (partes por millón ó mg/Kg), mientras que en el más desfavorable (RCP 8.5), sin la adopción de medidas de mitigación de emisiones, es de más de 1000 ppm.

Como consecuencia del aumento en los gases de efecto invernadero (GEI), entre los que el CO<sub>2</sub> es el más importante, la temperatura media global ha aumentado 1.09°C en el promedio del periodo 2011-2020 respecto del promedio del periodo 1850-1900 y ese incremento sería de 1.8°C según las proyecciones calculadas para el año 2100 en un escenario de bajas emisiones (RCP 2.6) y de 4.4°C en el escenario de emisiones más desfavorable (RCP 8.5). Este mismo informe indica que la media anual de 2019 ya era de 410 ppm, un 147 % por encima de su concentración en la era preindustrial, estimada en 278 ppm.

El incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> y de la temperatura media produciría en teoría un aumento en el rendimiento de los cultivos, ya que ambos son factores favorecedores del crecimiento vegetal, redundando en una mayor disponibilidad de alimentos para la creciente población humana y para la alimentación de animales destinados a producir alimentos. Sin embargo, puede que esto no esté siendo así puesto que otros efectos pro-

ducidos por el cambio climático, como el incremento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (olas de calor, lluvias torrenciales, periodos de sequía extrema, etc.) están influyendo en sentido negativo en los rendimientos de los cultivos y en otros sectores productores de alimentos.

Del mismo modo, un aumento en la temperatura media global podría corresponderse con un aumento en las enfermedades de transmitidas por alimentos, ya que potencialmente podría ampliar el ciclo estacional (verano) en el que actualmente se concentra el mayor número de casos de estas enfermedades en humanos.

## Cambio climático y producción de alimentos

### Efectos sobre los cultivos

Existe una gran sensibilidad de los cultivos a las variaciones del clima. Hay numerosos estudios que así lo constatan, aunque en este artículo hemos de limitarnos a algunos ejemplos. Cabría esperar un efecto positivo en la acción conjunta de la elevación de la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura respecto al rendimiento de los cultivos. En este sentido, se ha observado que el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> en 200 ppm puede aumentar rendimiento hasta en un 36 % en la producción de arroz<sup>(2)</sup>, pero señala este mismo estudio que los extremos térmicos son un importante factor limitante que pueden influir de forma negativa.

## La concentración de proteínas en los cultivos desciende por el cambio climático y aumenta el riesgo de extensión de plagas

Sin embargo, como consecuencia de la elevación de la temperatura y el aumento de la variabilidad en las precipitaciones, con mayor frecuencia de episodios extremos (sequías, lluvias torrenciales) se han observado efectos desfavorables en las plantas. Por ejemplo, se ha relacionado el aumento de la temperatura media con un menor periodo de maduración de cultivos y una menor producción de grano cuando la elevación de temperatura se produce durante la floración<sup>(3)</sup>. También se ha descrito floración y maduración prematuras en uvas, manzanos y otros cultivos<sup>(4,5)</sup>. Las temperaturas muy altas después de la floración aceleran la senescencia de los cereales y aumentan el estrés hídrico<sup>(6)</sup>. No obstante, la gran variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones hacen de ellas un peor predictor sobre el rendimiento de los cultivos que las temperaturas aunque, evidentemente, sea la falta de agua (periodos de sequía) el mayor causante de inseguridad alimentaria en el sentido de provisión de alimentos<sup>(7)</sup>. En todo caso, los modelos estadísticos muestran evidentes efectos negativos en cultivos cuando la temperatura alcanza los 30°C, aunque las variaciones geográficas son importantes<sup>(8)</sup>. Incluso en algunos cultivos se han descrito esos efectos como beneficiosos, como en la yuca, debido a su elevada temperatura óptima de crecimiento<sup>(9)</sup>.

Existe un amplio consenso científico acerca del impacto negativo sobre el rendimiento de los cultivos de otro contaminante de origen antropogénico, el ozono, con efectos directos sobre la función reproductora (menos semillas, detención de maduración de frutos, etc.), disminución de la fotosíntesis y otros procesos fisiológicos<sup>(10)</sup>.

Algunos estudios apuntan también hacia una extensión de enfermedades vegetales, y de plagas a latitudes más altas<sup>(11)</sup>. Como consecuencia, la extensión en el uso de plaguicidas y las alteraciones climáticas juegan un papel clave en la disminución de las poblaciones de insectos polinizadores, afectando negativamente a los rendimientos de los cultivos<sup>(12)</sup>.

Por tanto, la sensibilidad de los cultivos a las variaciones de estos factores climáticos y contaminantes atmosféricos hace que las proyecciones globales indiquen una disminución de los rendimientos de los cultivos (con variaciones regionales o locales) así como una tendencia hacia una mayor variabilidad en esos rendimientos, es decir, mayor incertidumbre en cuanto a la provisión de alimentos de origen vegetal. El sexto informe

del IPCC<sup>(13)</sup> estima que en un escenario sin adaptación (RCP 8.5) habrá a lo largo del presente siglo un 2.3 % de descenso en el rendimiento del cultivo del maíz por década, el 3.3 % para la soja, 0.7 % el arroz y un 1.3 % en el trigo, si bien las diferencias regionales indican que el rendimiento aumentaría en regiones con temperatura media <10°C, disminuyendo en el resto según los escenarios que se contemplen. Todo ello en un contexto de crecimiento de la demanda de alimentos a nivel global estimado en un 14 % por década<sup>(14)</sup>. Esa disminución de los rendimientos, según indican la mayoría de los estudios realizados en todos los continentes, es algo que ya se está produciendo<sup>(15)</sup>, especialmente en países situados en regiones tropicales o templadas.

### Efectos sobre la composición y calidad de los alimentos

La calidad de los alimentos se refiere a cualquier otra característica que no sea el rendimiento y que resulte valioso para el productor o el consumidor, como son las concentraciones de proteína en trigo y almidón, que afectan a la calidad de la masa de panificación, el contenido de amilosa en el arroz, que afecta a gusto, o las concentraciones de minerales, que afectan a la ingesta de nutrientes por los consumidores.

El cambio climático tendrá algunos efectos adversos sobre calidad de los alimentos mediante la alteración del carbono y procesos de absorción de nutrientes y procesos bioquímicos que producen compuestos secundarios, o en su redistribución y almacenamiento durante el desarrollo y maduración del grano<sup>(16)</sup>. Esto a su vez podría afectar la salud humana y a la del ganado debido a la alteración de la calidad nutricional y/o afectar el valor económico mediante la alteración rasgos valiosos para fabricantes de productos alimenticios o para los consumidores.

Por ejemplo, la elevación en los niveles de CO<sub>2</sub> se relaciona con una menor concentración en proteína<sup>(16)</sup> y con un descenso en la cantidad de calcio, azufre, magnesio, hierro y otros oligoelementos en el grano y partes verdes del trigo. A este respecto, son muy recomendables las interesantes investigaciones de Myers y colaboradores<sup>(17)</sup>.

### Efectos sobre alimentos de origen animal

#### Ganadería

Evidentemente, todo lo que influya sobre la producción de forrajes afectará a la alimentación animal y, por tanto, a la producción de alimentos de origen ganadero. Así, una disminución de rendimientos en la producción vegetal traerá como consecuencia una menor disponibilidad de forrajes y mayores precios (costes de producción). En zo-



## La tendencia de aumento de temperatura en el clima es responsable del incremento en un 19 % de los precios de los alimentos

nas frías, el aumento de la temperatura media podría inducir una extensión del periodo de crecimiento de forrajes pero de menor calidad y con una producción muy variable debido a la mayor frecuencia de episodios meteorológicos extremos, lo que de hecho ya se está manifestando según diversos estudios<sup>(18)</sup>.

Por otra parte, desde hace décadas es sabido que las especies ganaderas tienen un rango de temperaturas de confort de modo que fuera del mismo se ven afectadas sus producciones y aumenta la mortalidad de los animales por estrés. Por ejemplo, se ha observado:

- Que los animales genéticamente seleccionados son más sensibles a cambios ambientales<sup>(19)</sup>.
- Un descenso en la cantidad y calidad de la leche producida debido al estrés térmico<sup>(20)</sup>.
- Menor índice de crecimiento de los animales, afectando a la producción de carne<sup>(21)</sup>.
- Alteraciones en la fertilidad, aumento de la mortalidad por calor y pérdidas económicas<sup>(22)</sup>.

Una consecuencia ya evidente del aumento de la temperatura media es la extensión hacia latitudes más altas



El cambio climático alterará la calidad de algunos alimentos

de enfermedades transmitidas por vectores, muchas de ellas zoonosis que amenazan la salud pública (fiebre de Crimea-Congo, fiebre del Nilo Occidental, etc.)

### Pesca

Este sector aporta una gran parte de la provisión de alimentos a la población mundial, especialmente en los países en vías de desarrollo, donde la pesca a pequeña escala, para el mercado local, es muy mayoritaria. Además, tanto la pesca extractiva como la acuicultura son particularmente vulnerables al cambio climático, ya que la elevación de la temperatura del agua y la acidificación de los océanos se manifiestan de una manera global, afectándole de forma significativa.

Por ejemplo, ya se está observando una redistribución del potencial de capturas pesqueras hacia latitudes más altas debido a estos cambios en detrimento de las que se observan en latitudes más bajas, cercanas a los trópicos <sup>(23)</sup>. Asimismo, la acidificación de los océanos como consecuencia del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera tiene efectos directos y rápidos sobre los organismos calcáreos, con disminución de capturas y muerte de arrecifes coralinos. Muchas especies marinas están asociadas a la supervivencia de los corales, por lo que el hecho combinado de su desaparición, la elevación de la temperatura del mar y la sobrepesca está llevando a situaciones preocupantes por la disminución en los volúmenes de capturas <sup>(24)</sup>. Estos cambios tienen implicaciones muy negativas en el sector pesquero de países en vías de desarrollo tropicales ya que tienden a ser muy vulnerables al cambio climático <sup>(25)</sup>.

### Efectos sobre los precios de los alimentos

Un factor muy importante sobre la seguridad en el aprovisionamiento de alimentos son sus precios. Estos, siguiendo la ley de la oferta y la demanda a nivel global, han tenido una tendencia descendente durante gran parte del siglo XX, pero desde 2007 ha habido periodos de rápido incremento y grandes fluctuaciones en los precios de los alimentos. Se atribuye a una mayor demanda de alimentos, pero también, de forma significativa, al aumento de la producción de biodiésel como consecuencia de la aplicación de determinadas políticas energéticas, relacionándose con las fluctuaciones de los precios de los combustibles <sup>(26)</sup>. La variabilidad e incertidumbre en las producciones, influidas por los cada vez más frecuentes episodios climáticos extremos, juegan su papel en estas variaciones de los precios, estimando algunos estudios que esa tendencia en el clima es responsable del incremento en un 19 % de los precios de los alimentos <sup>(15)</sup>. Pero las medidas de carácter político son susceptibles de amplificar sus efectos, como se ha señalado antes, añadiendo el ejemplo de

### Las especies ganaderas tienen un rango de temperaturas de confort que fuera de él afecta a su producción

las restricciones a las exportaciones de alimentos desde determinados países desde 2007 <sup>(27)</sup> o el estallido de conflictos armados como el que actualmente se está produciendo en Ucrania.

### Cambio climático y salubridad de los alimentos

Teóricamente, la tendencia al calentamiento global favorecería la proliferación de microorganismos potencialmente productores de intoxicaciones y toxiinfecciones alimentarias al aproximarse la temperatura media global a la temperatura óptima de crecimiento de esos gérmenes. Tendríamos el ejemplo del comportamiento estacional de los casos de ‘campilobacteriosis’ o ‘salmonelosis’, que son las dos enfermedades más frecuentes en Europa producidas por el consumo de alimentos, con picos en verano coincidiendo con la elevación de las temperaturas <sup>(28)</sup>. Incluso algunos estudios realizados en varios países europeos han descrito un aumento significativo de casos notificados de salmonelosis en humanos por cada grado que la temperatura media mensual supera un determinado umbral de temperatura, que es variable según los países estudiados, sugiriendo que la temperatura influye en la aparición de la enfermedad en un 35 % de los casos de salmonelosis que se producen en países como Inglaterra, Holanda o España <sup>(29)</sup>. Sin embargo, si tomamos como ejemplo las dos enfermedades antes citadas y considerando el conjunto de los países de la Unión Europea, solo se aprecia en los últimos años una ligera tendencia creciente en el número de casos de campilobacteriosis y ligeramente decreciente en los de salmonelosis. En parte, esa contención es debida a las medidas de control establecidas desde instancias públicas, lo que indica que en este sentido el riesgo potencial por temperaturas elevadas relacionadas con el cambio climático puede ser contrarrestado a través de la acción concertada de salud <sup>(30)</sup>.

No obstante, hay que ser conscientes del riesgo potencial que el calentamiento global supone en este aspecto en países donde las medidas de control son leves o no existen y de los que no se tiene constancia de cuál es la tendencia por carecer de datos y estudios.

Existen trabajos que refuerzan la idea de la influencia del cambio climático en el cambio de patrones de distribución o frecuencia de aparición o riesgo de que aparezcan determinados microorganismos o contaminantes en alimentos, incluyendo

residuos de pesticidas y de medicamentos veterinarios <sup>(31)</sup>.

Se ha observado una relación significativa entre la presencia de ‘ocratoxina A’ en la uva y el aumento de las temperaturas en España <sup>(32)</sup>. Modelos predictivos en escenarios de aumento de 2°C o de 5°C de la temperatura en Europa obtienen mapas de riesgos por contaminación de maíz por aflatoxinas que indican una mayor incidencia en el sur de Europa, con especial relevancia en España <sup>(33)</sup>.

La elevación del nivel del mar, fusión de hielos polares y de glaciares continentales, cambios en los patrones de precipitaciones y aportes fluviales a mares y lagos, así como otros fenómenos meteorológicos extremos, como el incremento en la frecuencia de grandes tormentas, afectan al sistema marino en términos de disminución de la salinidad y arrastre de contaminantes, con modificación de especies, aparición de patógenos fecales (superación de sistemas de alcantarillado por inundaciones), patógenos marinos como *Vibrio spp* por cambios en la salinidad y temperatura del agua <sup>(34)</sup>, aumentos en la frecuencia y amplitud de afloramientos de dinoflagelados tóxicos <sup>(35)</sup>. Todo ello afectando a zonas de producción acuícola, especialmente de moluscos bivalvos (almejas, mejillones, ostras, etc.) en los que estos gérmenes y toxinas se pueden acumular por tratarse de organismos filtradores.

### Conclusiones

El cambio climático está produciendo, y las proyecciones indican que seguirá produciendo una disminución en los

rendimientos de los cultivos, especialmente en regiones templadas y tropicales.

La calidad de los cultivos está siendo afectada, presentando menor concentración de proteína y con mayor riesgo de extensión de plagas desde latitudes más bajas.

La ganadería se vería afectada vía alimentación animal por una elevación de costes de producción y también por efectos directos sobre el bienestar animal y sus menores rendimientos a nivel de producción de alimentos de origen animal.

Particularmente sensibles están demostrando ser los recursos pesqueros respecto al cambio climático, alterando los ecosistemas marinos de forma importante por la elevación de la temperatura, modificaciones de la salinidad y la acidificación consecuente al aumento de la concentración de CO<sub>2</sub>.

La mayor incertidumbre en la producción de alimentos junto con la especulación de los mercados derivada de la misma y de determinadas decisiones políticas están ya produciendo importantes fluctuaciones en los precios en un contexto de mayor demanda por el crecimiento de la población mundial.

La elevación de la temperatura media global produciría un mayor riesgo potencial de enfermedades de transmisión alimentaria, especialmente en países donde carecen de medidas de control y de sistemas de información sanitaria lo suficientemente desarrollados. ✨



El estrés térmico en las vacas provoca un descenso en la cantidad y calidad de la leche

## Bibliografía

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Hasegawa T, Sakai H, Tokida T, Nakamura H, Zhu C, Usui Y, Yoshimoto M, Fukuoka M, Wakatsuki H, Katayanagi N, Matsunami T, Kaneta T, Sato T, Takakai F, Sameshima R, Okada M, Mae T, Makino A. Rice cultivar responses to elevated CO<sub>2</sub> at two free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) sites in Japan. *Functional Plant Biology*. 2013;40: 148-59. <https://doi.org/10.1071/FP12357>

Moriondo M, Giannakopoulos C, Bindi M. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climatic Change*. 2011;104:679-701. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9871-0>

Martínez-Lüscher J, Kizildeniz T, Vucetic V, Dai Z, Luedeling E, van Leeuwen C, Gomes E, Pascual I, Irigoyen JJ, Morales F, Delrot S. Sensitivity of grapevine phenology to water availability, temperature and CO<sub>2</sub> concentration. *Front. Environ. Sci*. 2016; 4:48. [doi: 10.3389/fenvs.2016.00048](https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00048)

Grab S, Czapara A. Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973-2009. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2011;151:406-13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.001>

Lobell DB, Sibley A, Ortiz-Monasterio JI. Extreme heat effects on

wheat senescence in India. *Nature Climate Change*. 2012; 2(3):186-9. <https://doi.org/10.1038/nclimate1356>

Zachariah M, Mondal A, Kouchak A. Probabilistic Assessment of Extreme Heat Stress on Indian Wheat Yields Under Climate Change. *Geophysical Research Letters* 2021; 20(48):e2021GL094702. <https://doi.org/10.1029/2021GL094702>

Zhang T, Zhu J, Wassmann R. Responses of rice yields to recent climate change in China: an empirical assessment based on long-term observations at different spatial scales (1981-2005). *Agricultural and Forest Meteorology*. 2010;150:1128-37. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.013>

Rosenthal D, Ort DR. Examining cassava's potential to enhance food security under climate change. *Tropical Plant Biology*. 2012;5:30-8. <https://doi.org/10.1007/s12042-011-9086-1>

Mills G, Sharps K, Simpson D, Pleijel H, Broberg M, Uddling J, Jaramillo F, Davies WJ, Dentener F, Van den Berg M, Agrawal M, Agrawal SB, Ainsworth EA, Büker P, Emberson L, Feng Z, Harmens H, Hayes F, Kobayashi K, Paoletti E, Van Dingenen R. Ozone pollution will compromise efforts to increase global wheat production. *Global Change Biol*. 2018; 8(24):3560-74. <https://doi.org/10.1111/gcb.14157>

Bajwa AA, Farooq M, Al-Sadi AM, Nawaz A, Jabran K, Siddique KHM. Impact of climate change on biology and management of wheat pests. *Crop Prot*. 2020; 137:105304. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105304>

Rodger JG, Bennett JM, Razanajatovo M, Knight TM, van Kleunen M, Ashman TL, Steets JA, Hui C, Arceo-Gómez G, Burd M, Burkle

LA, Burns JH, Durka W, Freitas L, Kemp JE, Li J, Pauw A, Vamosi JC, Wolowski M, Xia J, Ellis AG. Widespread vulnerability of flowering plant seed production to pollinator declines. *Sci Adv*. 2021 Oct 15;7(42):eabd3524. [doi: 10.1126/sciadv.abd3524](https://doi.org/10.1126/sciadv.abd3524).

Bezner Kerr R, Hasegawa T, Lasco T, Bhatt I, Deryng D, Farrell A, Gurney-Smith H, Ju H, Lluch-Cota S, Meza F, Nelson G, Neufeldt H, Thornton P. Food, Fibre, and Other Ecosystem Products. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Alexandratos N, Bruinsma J. World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03, Agricultural Development Economics Division (ESA), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 2012.

Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 2011; 333(6042):616-20. [doi: 10.1126/science.1204531](https://doi.org/10.1126/science.1204531)

Fernando N, Panozzo J, Tausz M, Norton R, Fitzgerald G, Seneweera S. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentration affects mineral content and protein concentration of wheat grain. *Food Chemistry*. 2012; 133:1307-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.105>

Myers SS, Zhanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey ADB, Bloom AJ, et al. Increasing CO<sub>2</sub> threatens human nutrition. *Nature*. 2014; 7503(510):139-42. [doi:10.1038/nature13179](https://doi.org/10.1038/nature13179)

Dumont B, Andueza D, Niderkorn V, Lüscher A, Porqueddu C, Piccon-Cochard C. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass Forage Sci*. 2015; 70: 239-254. <https://doi.org/10.1111/gfs.12169>

Hoffmann I. Climate change and the characterization, breeding, and conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics*. 2010; 41:32-46. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02043.x>

Bertocchi L, Vitali A, Lacetera N, Nardone A, Varisco G, Bernabucci U. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. *Animal*. 2014;8:667-74. [doi: 10.1017/S1751731114000032](https://doi.org/10.1017/S1751731114000032).

Thornton P., Nelson G., Mayberry D, Herrero, M. Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. *Global Change Biol*. 2021; 27: 5762-72. <https://doi.org/10.1111/gcb.15825>

Godde C, Mason-D'Croz D, Mayberry D, Thornton PK, Herrero M. Risk of climate-related impacts on the livestock sector: A review of the evidence. *Global Food Security*. 2021; 28:100488. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>

Bryndum-Buchholz A, Boyce DG, Tittensor DP, Christensen V, Bianchi D, Lotze HK. Climate-change impacts and fisheries management challenges in the North Atlantic Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser*. 2020; 648: 1-17. <https://doi.org/10.3354/meps13438>.

Magel J MT, Dimoff SA, Baum J K. Direct and Indirect Effects of Climate Change-Amplified Pulse Heat Stress Events on Coral Reef Fish Communities. *Bull Ecol. Soc. Am*. 2020; 101(3):e01706. <https://doi.org/10.1002/bes2.1706>

O'Reilly CM, Alin SR, Plisnier PD, Cohen AS, McKee BA. Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*. 2003; 424:766-8. <https://doi.org/10.1038/nature01833>

Mueller S, Anderson J, Wallington T. Impact of biofuel production and other supply and demand factors on food price increases in 2008. *Biomass and Bioenergy*. 2011; 35:1623-32. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.030>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011. The State of Food Insecurity in the World: How does International Price Volatility Affect Domestic Economies and Food Security? Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Fund for Agricultural Development, World Food Programme: Rome, Italy.

EFSA and ECDC (European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control), 2021. The European Union One Health 2020 Zoonoses Report. *EFSA Journal* 2021;19(12):6971, 324 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6971>

Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, Armstrong BG, Ebi KL, Menne B. The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiology and Infection*. 2004; 132 (3): 443-53. <https://doi.org/10.1017/S0950268804001992>.

Semenza JC, Menne B. Climate Change and Infectious Diseases in Europe. *The Lancet ID*. 2009; 9:365-75. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70104-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70104-5)

Herrera M, Anadón R, Iqbal, SZ, Bailly JD, Ariño A. Climate Change and Food Safety. In: Selamat, J., Iqbal, S. (eds) *Food Safety*. 2016, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39253-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39253-0_8)

Cervini C, Verheecke-Vaessen C, Ferrara M, García-Cela E, Magistà D, Medina A, Gallo A, Magan N, Perrone G. Interacting climate change factors (CO<sub>2</sub> and temperature cycles) effects on growth, secondary metabolite gene expression and phenotypic ochratoxin A production by *Aspergillus carbonarius* strains on a grape-based matrix. *Fungal Biol*. 2021 Feb;125(2):115-122. [doi: 10.1016/j.funbio.2019.11.001](https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.11.001).

Battilani P, Toscano P, Van Der Fels-Klerx HJ, Moretti A, Camardo-Leggieri M, Brera C, et al. Aflatoxin B 1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Sci Rep* 2016; 6: 24328. [doi: 10.1038/srep24328](https://doi.org/10.1038/srep24328).

Froelich BA, Daines DA. In hot water: effects of climate change on Vibrio-human interactions. *Environ Microbiol*. 2020 Oct;22(10):4101-4111. [doi: 10.1111/1462-2920.14967](https://doi.org/10.1111/1462-2920.14967)

Estevez P, Castro D, Pequeño-Valtierra A, Giraldez J, Gago-Martínez A. Emerging Marine Biotoxins in Seafood from European Coasts: Incidence and Analytical Challenges. *Foods*. 2019 May 1;8(5):149. [doi: 10.3390/foods8050149](https://doi.org/10.3390/foods8050149).



Ciudades como Zaragoza apuestan por la

# ¿Debemos protegernos de la radiación natural?

**Marta García-Talavera San Miguel**

Jefa del Área de Radiación Natural. Consejo de Seguridad Nuclear

Recreación elaborada por la Nasa del campo magnético de la Tierra en colisión contra el viento solar, que es una fuente de radiación natural

Todas las personas estamos expuestas a la radiación ionizante de origen natural. A niveles normales, esta exposición no incide en nuestra salud, pero en determinadas circunstancias las dosis de radiación natural pueden llegar a ser diez o incluso cien veces más altas que el promedio, con el consiguiente aumento del riesgo de cáncer en la población afectada. ¿Es posible evitar este riesgo? Desde hace cuatro décadas, los principales organismos internacionales en el campo de la protección radiológica vienen recomendando tomar medidas dirigidas a limitar la radiactividad en varias vías de exposición relevantes (el agua potable, el aire interior, algunos residuos industriales, etc.) La experiencia de un número creciente de países en todo el mundo, incluido España, pone de manifiesto que, pese a ser una tarea compleja, los riesgos para la población asociados a la radiación natural pueden reducirse en la práctica. Ello se logra, por un lado, regulando la responsabilidad de empresas, gestores y administraciones de garantizar productos seguros y ambientes saludables; por otro, mediante estrategias que permitan a la ciudadanía conocer y comprender los riesgos naturales y le proporcionen, además, herramientas de autoprotección. En esta línea, el Plan Estratégico de Salud y Medioambiente (PESMA) es una oportunidad inestimable para proteger de forma más racional y eficaz a la población de los efectos nocivos de la radiactividad natural.

## La radiactividad y sus riesgos

Las sustancias están formadas por átomos, cuyos núcleos, constituidos por protones y neutrones, son, en su mayoría, estables. Sin embargo, aquellos que tienen determinado exceso de neutrones, se desintegran emitiendo energía en forma de partículas cargadas o de radiación electromagnética. Este fenómeno se conoce como radiactividad. La radiactividad puede ser natural (cuando los núcleos que se desintegran se encuentran originariamente en la naturaleza) o artificial (cuando se trata de átomos creados por la acción humana).

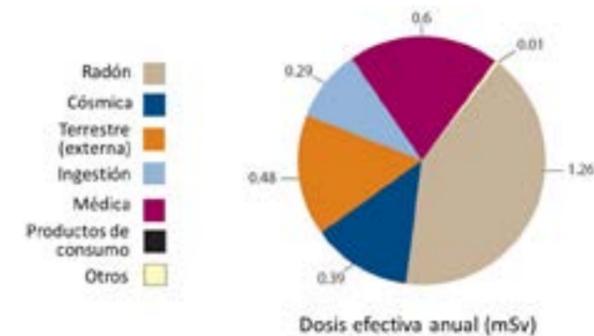
La radiación emitida en la desintegración nuclear ioniza la materia, es decir, arranca electrones de los átomos cercanos, y provoca cambios químicos en los tejidos vivos. Los efectos biológicos de la radiación ionizante se deben a estos cambios, los cuales tienen lugar en la estructura química de las células, en particular en el ADN.

La exposición a dosis agudas y relativamente altas de radiación provoca efectos deterministas, causados por la muerte de un número elevado de células de un tejido u órgano. Estos efectos pueden ir desde el eritema o la esterilidad hasta el síndrome de irradiación aguda, que, a muy altas dosis, provoca la muerte. A dosis bajas y recibidas a lo largo de periodos de tiempo prolongados —como las

debidas a los materiales presentes en la naturaleza—, los efectos de la radiación son un aumento del riesgo de cáncer para la persona expuesta y alteraciones hereditarias en su descendencia. Ambos efectos son estocásticos y su probabilidad de ocurrencia aumenta de forma lineal con la dosis recibida, sin que haya un umbral por debajo del cual los efectos de la radiación puedan considerarse inocuos.

## La mayor parte de la dosis por radiación ionizante que recibe la población se debe a fuentes naturales

En nuestra percepción colectiva, el fenómeno de la radiactividad y sus efectos están inevitablemente ligados a grandes catástrofes humanas y ambientales, como el lanzamiento de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki, o los accidentes nucleares de Chernóbil y Fukushima. Sin embargo, al margen de estas circunstancias excepcionales (que conllevan niveles de radiación letales), la mayor parte de las dosis por radiación ionizante que recibe la población mundial se debe a fuentes naturales.



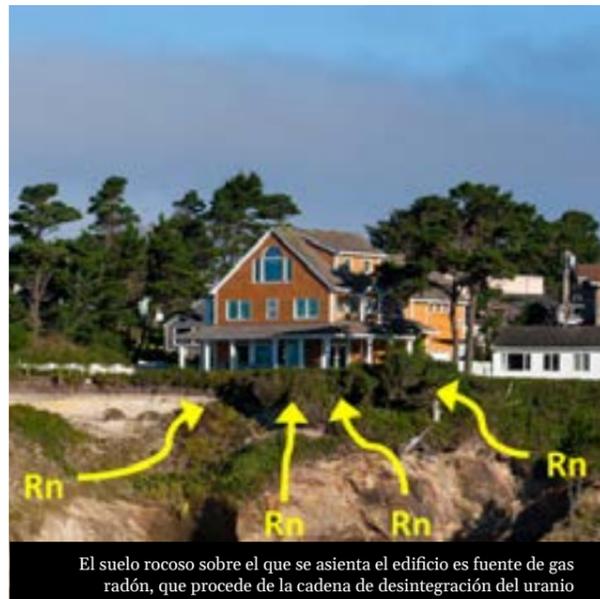
Contribuciones de las distintas fuentes a la dosis efectiva anual promedio para la población mundial (según el informe de 2008 del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, UNSCEAR)

UNSCEAR cifra la contribución natural en una dosis efectiva <sup>1</sup> de 2,4 mSv/año, siendo su principal componente la inhalación de radón (un gas radiactivo de la cadena del uranio). Otras fuentes naturales relevantes son la radiación gamma terrestre y la radiación cósmica, tercera y cuarta en importancia, tras las exposiciones médicas. En España, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) estima que la dosis efectiva de radiación natural recibida por la población es en promedio de 2,6 mSv/año,<sup>2</sup> de la cual un 52 % es atribuible a la exposición al radón en las viviendas.

Contribuciones de las distintas fuentes a la dosis efectiva anual promedio para la población mundial (según el informe de 2008 del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, UNSCEAR)

La radiactividad natural es ubicua y la exposición a ella, por tanto, inevitable. Aunque en las condiciones habituales no representa un riesgo significativo, en determinadas circunstancias puede alcanzar valores extremos. La exposición a estos altos niveles conlleva efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente, que pueden y, por tanto, deben controlarse.

El radón (Rn-222) es un gas radiactivo de origen natural de la cadena de desintegración del uranio. Procede fundamentalmente de las rocas y del suelo (donde el uranio está presente desde su formación) y desde allí migra, por difusión o advección, y tiende a acumularse en el aire interior de los edificios.



El suelo rocoso sobre el que se asienta el edificio es fuente de gas radón, que procede de la cadena de desintegración del uranio

Sus recomendaciones se fundamentan en una serie de principios (ver tabla 1) que representan el consenso internacional sobre el paradigma de la protección radiológica. Esas recomendaciones constituyen la base sobre la cual se desarrolla la normativa internacional en materia de protección radiológica que los distintos países adoptan en sus regulaciones nacionales. Las principales referencias internacionales son las Normas Básicas de Seguridad del Organismo Internacional de la Energía Atómica y las de la Comisión Europea (recogidas en la directiva 2013/59/Euratom).

La ICRP distingue tres tipos de situaciones de exposición, que deben abordarse de manera diferente: existente, planificada y de emergencia. Cuando se toma una decisión sobre el control de una situación de exposición existente (provengan de fuentes naturales o artificiales), tanto las posibles medidas de reducción del riesgo como su efectividad son más limitadas que en una situación planificada.

### Tratamiento de la radiación natural en el sistema de protección radiológica

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (conocida como ICRP, por sus siglas en inglés) se constituyó en 1950 para abordar la seguridad en el creciente uso de las fuentes de radiación y los materiales radiactivos.

#### El PESMA es una oportunidad para proteger a la población de la radiactividad natural

<b>Principio de justificación</b>	Cualquier decisión que aumente de manera significativa la exposición a la radiación ionizante debe producir más beneficio (individual y/o social) que daño
<b>Principio de optimización</b>	La probabilidad de recibir exposiciones a la radiación, el número de personas expuestas, la magnitud de las dosis esperadas y los riesgos deben mantenerse tan bajos como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores técnicos, económicos y sociales
<b>Principio de protección individual</b>	Las dosis recibidas por las personas deben limitarse de manera que se impidan, en lo posible, las inequidades individuales que podrían derivarse de aplicar los principios de justificación y optimización

Tabla 1. Principios de la protección radiológica. Estos tres principios integran valores de prudencia (principio de precaución) para proteger a las generaciones futuras y a su hábitat



Las tripulaciones de aviones comerciales constituyen un grupo de riesgo de exposición a mayores niveles de radiación cósmica

### La radiación emitida en la desintegración nuclear provoca cambios químicos en los tejidos vivos

La mayor parte de las exposiciones a la radiación natural entran en la categoría de situaciones existentes.

En el caso de la radiación natural es complejo establecer qué situaciones deben quedar sujetas a control regulador y cuál debe ser el alcance de los controles, puesto que afecta a toda la población. En la práctica, el éxito de un sistema regulador con un campo de actuación tan amplio radica en aplicar un enfoque pragmático y flexible, basado en la identificación de los individuos más expuestos, sobre los cuales se debe actuar prioritariamente, y en la aplicación de un control gradual, en función del riesgo, para las actividades humanas en las que se procesan o generan materiales naturales con concentraciones de radiactividad relevantes.

### Exposición al radón en España

En España se estima que la exposición doméstica al radón es responsable de 838 muertes por cáncer de pulmón cada año (Ruano *et al.*, 2021). Un hito fundamental que contribuirá a reducir a largo plazo este número de cánceres ha

sido la inclusión en el Código Técnico de Edificación, en 2019, de una nueva sección HS6, sobre protección contra el radón, en el Documento Básico 'Salubridad'. La sección HS6 incorpora un nivel de referencia de 300 Bq/m<sup>3</sup> —acorde con la directiva europea 2013/59/Euratom—, que la concentración de radón en los edificios de nueva planta y rehabilitados no debe superar.

Este nivel de 300 Bq/m<sup>3</sup> supone que los ocupantes de la vivienda pueden recibir una dosis efectiva de radiación de unos 14 mSv/año debida al radón. No obstante, en el actual parque de edificios no es inusual encontrar concentraciones superiores a 1 000 Bq/m<sup>3</sup> en plantas bajas o sótanos, especialmente en zonas de geología ígnea o metamórfica de origen ígneo. Para poner estas cifras en contexto, el límite de dosis que se aplica para garantizar la protección de los trabajadores expuestos en instalaciones nucleares y radiactivas es de 20 mSv/año, aunque las dosis recibidas *de facto* por estos son muy inferiores. Según datos del CSN, menos del 2 % de todo el colectivo recibe dosis efectivas superiores a 5 mSv/año, y en particular, las dosis recibidas por el personal de las centrales nucleares son de 1–2 mSv/año (CSN, 2010). Es decir, las dosis de radiación por radón que recibe una gran parte de la población española en sus viviendas superan con creces las dosis ocupacionales de los trabajadores del sector nuclear.

Reducir las exposiciones de la población al radón—aun a concentraciones inferiores al nivel de referencia— debe ser, por tanto, un objetivo prioritario de la protección



La minería de tierras raras o el procesamiento de roca fosfática pueden conllevar riesgos por exposición a la radiación natural si no se introducen los controles necesarios

radiológica en España. También es una prioridad en un contexto de salud pública: el Código Europeo contra el Cáncer aconseja a la ciudadanía, en su Recomendación 9, que mida el radón en sus domicilios y, si es preciso, tome medidas para reducirlo.

### Otros riesgos

En el ámbito ocupacional, la exposición al radón, y, en general, a la radiación natural, está regulada. Es responsabilidad del empleador llevar a cabo los estudios necesarios para identificar si existe un riesgo radiológico significativo y, en su caso, velar porque se adopten las medidas de protección necesarias (Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes e Instrucción IS-33 del CSN).

Entre los trabajadores con riesgo de exposición al radón se encuentran aquellos cuya actividad se desarrolla en lugares subterráneos (como cuevas o túneles) o en lugares en los que se procesa agua de origen subterráneo. Las tripulaciones aéreas también pueden recibir dosis elevadas debido a la radiación natural; en este caso, a la radiación cósmica, que aumenta con la altitud. Un tercer grupo de riesgo lo constituyen los trabajadores de industrias en las que se procesan o generan materia-

### En España se estima que la exposición doméstica al radón provoca 838 muertes por cáncer de pulmón cada año

les radiactivos de origen natural (denominados NORM, por su acrónimo en inglés). Estas industrias incluyen un amplio número de sectores, como la producción de gas y de petróleo, la minería de tierras raras, el procesamiento de roca fosfática, etc.

En las industrias afectadas por NORM no solo es preciso implantar medidas y controles radiológicos para proteger la salud de los trabajadores; también es necesario gestionar los residuos y efluentes de manera que se garantice una adecuada protección del medio ambiente y de la población del entorno. Los suelos o recursos hídricos contaminados por las malas prácticas del pasado ligadas a estas industrias pueden estar afectados por radionúclidos de origen natural. Ese potencial riesgo radiológico debe evaluarse para determinar si son necesarias actuaciones urgentes (como vallado u otras restricciones de uso del suelo y las aguas) y, en su caso, mitigarse mediante su restauración ambiental.



Un inspector del CSN comprueba la tasa de radiación gamma externa de unos bidones con residuos generados en la producción de gas natural @ARAN, CSN. 2022

Por último, el agua y los alimentos pueden constituir otra fuente significativa de radiactividad. De acuerdo con el Real Decreto 140/2003, los gestores de los abastecimientos de agua para el consumo humano, bajo la supervisión de la autoridad sanitaria, deben hacer controles radiológicos del agua, y, cuando sea necesario, tratarla tomando como referencia una dosis indicativa de 0,1 mSv/año.

El Consejo de Seguridad Nuclear, creado por la Ley 15/1980 como único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, desempeña un papel esencial en el control de las exposiciones a la radiactividad natural. Sus primeros esfuerzos en este campo, en los años noventa, se centraron en evaluar la magnitud del problema, con el apoyo de distintas universidades. Fruto de esas investigaciones, y de otros trabajos posteriores en esa línea, han sido el Mapa de Radiación Gamma Natural (Suárez *et. al.*, 2000) y el Mapa de Potencial de Radón de España (García-Talavera y López, 2019), disponibles en <https://www.csn.es/frente-a-radiacion-natural>.

En la actualidad, el CSN ha emitido abundante normativa propia sobre el control de exposiciones a la radiación natural, apoya mediante subvenciones la I+D+i y ejerce distintas funciones en este ámbito. Entre ellas, supervisa y controla las actividades laborales con especial exposición a la radiación natural; evalúa, a solicitud de la autoridad competente, los planes de restauración de los terrenos o recursos hidrológicos afectados radiológicamente; o emite informes preceptivos en las declaraciones de impacto ambiental de los proyectos con implicaciones radiológicas.



Toma de un Vibrocoredurante la inspección del CSN al embalse de Flix (Tarragona) para verificar el estado radiológico de los sedimentos del embalse tras las operaciones de dragado de lodos contaminados @ARAN, CSN. 2022

### Nuevo enfoque en el control de la radiación natural

Tradicionalmente, la primera respuesta de los Gobiernos a los problemas de salud pública, y en particular, de salud ambiental, ha sido establecer regulación. La calidad del agua de consumo, las condiciones de habitabilidad de los edificios o los niveles de contaminación atmosférica admisibles son objeto de regulación tanto en el ámbito nacional como en el internacional. Como recoge la sección anterior, la exposición a la radiación natural no es una excepción.

### Reducir las exposiciones al radón debe ser objetivo prioritario de la protección radiológica en España

Más allá del ámbito jurídico, en los últimos años se ha puesto de manifiesto la importancia de desarrollar políticas y estrategias que permitan un enfoque más flexible y, sobre todo, integral y participativo. La directiva europea 2013/59/Euratom obliga por primera vez a los Estados Miembros a establecer estrategias para controlar las exposiciones a la radiación; en particular, un plan nacional contra el radón que represente la política y estrategia de cada Estado, con el objetivo a largo plazo de reducir el número de cánceres en la población (art.103); y, con carácter más general, programas y estrategias que permitan identificar y gestionar cualquier situación de exposición existente que sea relevante (arts. 100 y 101). Entre estas destaca la exposición a terrenos contaminados y a materias primas o productos básicos.

El PESMA, que incluye un área temática dedicada a la radiactividad natural, es una magnífica oportunidad para cimentar y conseguir este cambio de enfoque en España. Por descontado, es necesario que el alcance de las acciones sobre radiactividad sea transversal a otras áreas, puesto que la exposición a la radiación natural atañe a aspectos tan diversos como la contaminación del aire interior (radón), la gestión de los residuos (residuos NORM) o la contaminación industrial (industrias que generan o procesan NORM).

Esa integración de los aspectos de protección radiológica en las distintas áreas temáticas requiere, como primer pilar, mejorar la colaboración entre las administraciones competentes (estatales, autonómicas y locales) y reforzar la interrelación de estas con el CSN.

Según reconoce el PESMA, un segundo pilar fundamental — común al desarrollo de cualquier política o estrategia— debe ser la participación ciudadana. En el caso de la radiación na-

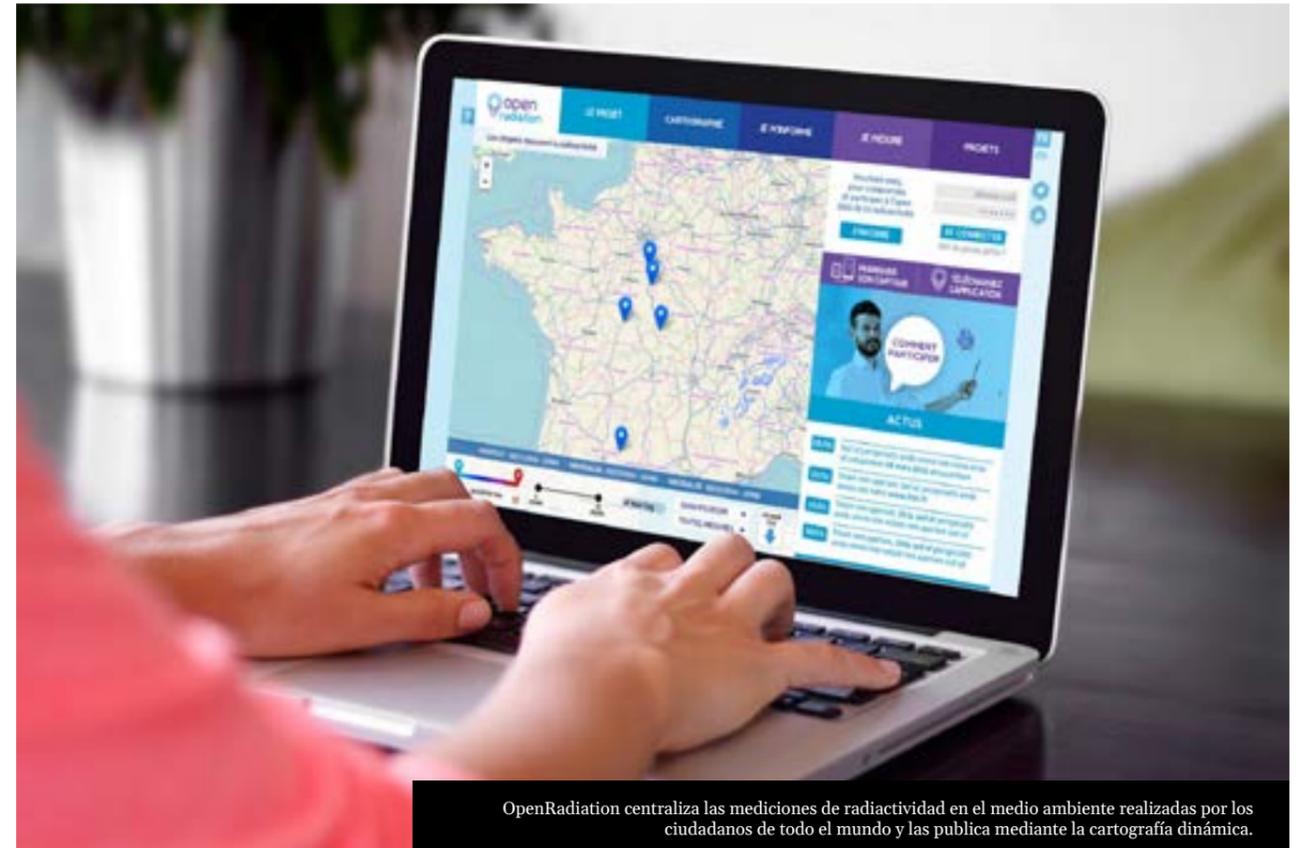
tural, esta es especialmente relevante; por una parte, porque la radiactividad afecta al conjunto de la población; por otra, porque el éxito de las actuaciones depende a menudo de decisiones individuales (por ejemplo, la de hacer obras en la vivienda para mitigar la entrada de radón).

**La alianza para reducir los riesgos por exposición a la radiación natural debe incluir a los sectores público, privado, científico y sociedad civil**

Por ello, entre las acciones para promover la educación y la participación de la sociedad en cuestiones de radiactividad ambiental, el CSN se unirá en los próximos meses a la iniciativa Open Radiation ( <https://www.openradiation.org/> ), mediante la cual impulsará, junto a Ibercivis, proyectos de ciencia ciudadana. El objetivo es doble: hacer



La mayor parte de las dosis por radiación ionizante que recibe la población mundial se debe a fuentes naturales, terrestres (rocas, aguas...) o bien exógenas, como la radiación solar o la cósmica. Imagen: playa de L'Espiguette (Francia), con altos niveles de radiación por presencia de monazita



OpenRadiation centraliza las mediciones de radiactividad en el medio ambiente realizadas por los ciudadanos de todo el mundo y las publica mediante la cartografía dinámica.

participe a la ciudadanía de las actividades científicas, lo cual redundará en un mejor conocimiento de la exposición a las radiaciones ionizantes, y, en última instancia, generar confianza y lograr una comprensión más profunda entre el organismo regulador y el público.

En materia de radiactividad natural, el CSN, de acuerdo con su misión y funciones, debe ser un nodo central en

la red de colaboración que sustenta el Plan Estratégico, tanto asesorando a las administraciones competentes como fomentando el diálogo y la participación de la sociedad. La alianza para conseguir un tratamiento de las exposiciones a la radiación natural más racional (informado por el riesgo, sostenible, equitativo) y eficaz debe incluir los sectores público y privado, el científico, y la sociedad civil.

**Notas y Referencias**

- 1 La dosis efectiva es una magnitud de protección radiológica que representa el riesgo a largo plazo para la salud humana debido a la exposición a la radiación ionizante. Tiene en cuenta el tipo de radiación recibida, la energía que esta deposita y la radiosensibilidad de los órganos irradiados. De este modo, permite comparar los efectos de distintas exposiciones.
- 2 Estimación revisada, a partir de García-Talavera et al.2007. Se ha considerado el nuevo coeficiente de dosis por radón (ICRP 137, Parte 3) publicado en 2018, siguiendo un modelo dosimétrico, coherente con la última evidencia epidemiológica.

CSN (2010). “Dosis de radiación”. SDB-04.07.

García-Talavera M. et al. (2007). *Radiation Protection Dosimetry* 124(4):353-9. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm213>.

García-Talavera M. y López F.J. (2019). CSN. *Colección Informes Técnicos* 51.2019

Ruano A. et al. (2021) *Environmental Research* 199:111372. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111372>

Suarez E. et al. (2000). CSN. *Colección Informes Técnicos* 5.2000.



# Residuos “no peligrosos” y Salud: análisis de la evidencia actual

**Piedad Martín-Olmedo**

Presidenta Sección de Evaluación de Impacto en Salud. European Public Health Association; Escuela Andaluza de Salud Pública, Instituto de Investigación Biosanitaria de Granada (España)

**Andrea Pastor**

TRAGSATEC. Ministerio de Sanidad

Por residuo se entiende “cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención u obligación de desechar”.<sup>(1,2)</sup> Su generación forma parte intrínseca de los procesos productivos de todo tipo y de los patrones de consumo de la población. Asimismo, su producción se encuentra fuertemente vinculada al desarrollo económico de un área, pero también a los valores culturales, éticos y de concienciación medioambiental de la comunidad que habita dicha localidad, región o país.<sup>(2,3)</sup>

Según los datos obtenidos por Eurostat para el año 2018, la cantidad de residuos generados por habitante en España habría aumentado un 6,9 % en comparación a los datos de 2016.<sup>(4)</sup> De entre los residuos producidos sólo un 2,3 % fueron clasificados como peligrosos por presentar una o varias de las características de peligrosidad recogidas en el anexo III de la Ley 22/2011 (derogada recientemente por la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados).<sup>(2)</sup> Hasta un 60 % de los residuos fueron generados en actividades relacionadas con la construcción, la minería y el sector servicios, mientras un 16,5 % del total entraría dentro de la categoría de residuo doméstico, o como se le denomina en el

actual marco jurídico, residuo municipal (RM).<sup>(4-7)</sup> Conforme a los datos publicados por la Agencia Europea de Medio Ambiente sobre el programa español para la prevención en la generación de residuos, entre 2010 y 2018 se observó un incremento al alza en la producción de los RM tras años de marcado descenso. Este aumento no se considera esté vinculado tanto al crecimiento demográfico como al modelo económico imperante y las actividades productivas llevadas a cabo en este período.<sup>(7)</sup>

Los residuos municipales, aunque no sean tan significativos en cuanto a cantidad y sean catalogados como “no peligrosos”, presentan una naturaleza muy heterogénea, incluyendo fracciones tan diversas como papel y cartón, vidrio, metales, plásticos, biorresiduos, madera, textiles, envases, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, pilas y acumuladores, y residuos voluminosos (ej. colchones y muebles). No se incluyen en esta categoría los residuos procedentes de fosas sépticas, red de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales, incluidos los lodos de depuradora, los vehículos al final de su vida útil, ni los residuos derivados de la construcción, demolición o la agricultura.<sup>(2)</sup> Tal heterogeneidad en cuanto a su composición puede generar impactos ambientales y de salud significativos, no siempre asumidos ni abordados.<sup>(Tabla 1).</sup>

## Estrategias de minimización

Para minimizar los posibles impactos asociados a los residuos se han propuesto una serie de estrategias a nivel comunitario y estatal dirigidas a transformar el modelo económico actual, basado en producir, consumir y tirar, en una economía circular mucho más sostenible. Dichas estrategias persiguen potenciar un uso más eficiente de los recursos, reducir la producción en origen de los residuos mediante la mejora de los procesos productivos, y



Aumentar segregación y reciclaje de los residuos y reintroducir el material en el ciclo es prioritario © E. Fdez



Descarga de residuos orgánicos y plásticos en una planta de incineración

umentar la segregación y reciclaje de las distintas fracciones de residuos, convirtiéndolas en productos que puedan reintroducirse nuevamente en el mercado. <sup>(1, 2, 8-13)</sup>

En España, aunque se ha observado un aumento notable en el uso de los contenedores amarillo (envases) y azul (papel y cartón), la gestión de los residuos no peligrosos, especialmente los RM, sigue siendo mayoritariamente mediante depósito en vertedero con el consiguiente impacto medioambiental. <sup>(5, 7, 14)</sup> Este es el caso por ejemplo de los biorresiduos, cuya acumulación en los vertederos supone una fuente difusa de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tales como el dióxido de carbono, el metano o diferentes óxidos de nitrógeno. Estas emisiones pueden llegar a representar hasta un 4 % de las emisiones totales de GEI de nuestro país. <sup>(15, 16)</sup> Esta situación se espera mejore notablemente a medio-largo plazo por la entrada en vigor de la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados, donde se estipula una gestión diferenciada de este tipo de residuos. <sup>(2)</sup>

## Potenciales efectos en salud de los residuos “no peligrosos”

Los residuos constituyen desde 1980 una de las amenazas ambientales para la salud humana más importantes incorporada para su estudio y seguimiento en el Proceso Europeo de Medio Ambiente y Salud promovido por la

### Los biorresiduos acumulados en vertederos son fuente difusa de emisión de gases de efecto invernadero

Organización Mundial de la Salud (OMS). No obstante, no ha sido hasta la sexta reunión interministerial celebrada en Ostrava (República Checa), en junio de 2017, cuando se han priorizado los residuos como problema relevante de salud ambiental. En este sentido, los 53 Estados Miembros de la Región Europea de la OMS se comprometieron en a: “eliminar los efectos adversos para el medio ambiente y la salud, los costes y las desigualdades relacionadas con la gestión de residuos y los sitios contaminados, avanzando hacia la eliminación de la eliminación y el tráfico de residuos no controlados e ilegales, y la gestión racional de los residuos y los sitios contaminados en el contexto de la transición a una economía circular”. <sup>(17)</sup>

La identificación, descripción y caracterización de los impactos sobre la salud humana que generan los residuos, especialmente los denominados “no peligrosos”, es compleja. La monografía ‘Salud y Residuos—Residuos «no peligrosos»: Evidencia sobre los efectos en salud y retos para su mejor caracterización’ editado por el Ministerio de Sanidad <sup>(18)</sup> en respuesta a uno de los objetivos de ac-

tuación del Plan Estratégico de Salud y Medioambiente (2022-2026) para España (PESMA) <sup>(19)</sup> recoge una amplia revisión de la evidencia científica disponible al respecto. En el presente artículo trataremos de resumir la evidencia relativa a los RM por integrar diversas fracciones, y por ser el tipo de residuo del que existen más datos sobre sus impactos en la salud humana.

#### • Según su composición

La dificultad de la caracterización de los impactos en la salud de residuos no peligrosos como los RM está vinculada, entre otros factores, a la coexistencia de múltiples fracciones, no siempre segregadas y tratadas de forma diferenciada. Tales fracciones, aunque mejor definidas en la actualidad en cuanto a la peligrosidad y toxicidad intrínseca de sus componentes <sup>(ver Tabla 1)</sup>, no han sido abordadas de manera individualizada en relación a los posibles efectos sobre la salud humana. En la monografía antes mencionada se recoge en anexo una relación de los principales efectos adversos asociados a componentes tóxicos presentes en los RM y las fracciones que lo integran. Así, por ejemplo, muchos metales pesados como el cadmio, arsénico, cromo VI, o níquel han sido catalogados por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como carcinogénicos en humanos <sup>(tipo 1)</sup>. Dicha caracterización se ha llevado a cabo sobre la base de estudios toxicológicos en animales de experimentación o sobre población humana expuesta a dosis altas.

<sup>(18)</sup> Sin embargo, la evidencia de asociación de distintos tipos de cáncer por exposición a estas sustancias en concentraciones ambientales bajas, como las asociadas a la exposición a distintas fracciones de residuos, es aún contradictoria. Además, esta asociación no tiene en cuenta los posibles efectos sinérgicos por exposición a peligros múltiples, ni la posibilidad de efectos crónicos a dosis bajas mantenidas en el tiempo, actualmente sometido a un intenso debate científico. <sup>(20-23)</sup> A este respecto, desde la OMS se sugiere que se prioricen estudios teniendo en cuenta la posible presencia de compuestos con una inherente mayor toxicidad o virulencia (caso de peligros biológicos), mayor persistencia medioambiental o poder de bioacumulación, u otros rasgos de peligrosidad como alta reactividad en contacto con agua o aire. <sup>(18, 20)</sup>

#### • Efectos atendiendo a instalaciones de tratamiento de RM

Por otro lado, la mayoría de trabajos científicos publicados hasta ahora hacen referencia fundamentalmente a los procesos de eliminación y tratamiento de RM, en especial mediante vertederos o incineradoras, y en menor medida mediante compostaje. <sup>(18-20; 24, 25)</sup>



A pesar del aumento notable en el uso de contenedores la gestión de los residuos no peligrosos sigue siendo mayoritariamente mediante depósito en vertedero © E. Fdez

Otra de las limitaciones que dificulta la caracterización de los impactos en salud relacionados con los RM estriba en el bajo tamaño muestral de personas afectadas. La población que vive cerca de las instalaciones de gestión de residuos no involucra por lo general a todos los residentes de un área urbana, sino solo a una pequeña parte de la población que vive cerca de dichas instalaciones. Este hecho limita la posibilidad de aislar diferencias estadísticamente significativas de efectos en salud por diferencias entre el efecto observado en población potencialmente expuesta y población control (no expuesta). <sup>(18, 20, 24-28)</sup> Diferentes estudios llevados a cabo en Europa, estimaron que aproximadamente entre el 2 y el 6 % de la población de zonas urbanas vive en las proximidades de instalaciones de gestión de residuos, a una distancia entre 0 y 3 km. <sup>(20, 27)</sup> Esta población es, por lo general, población más desfavorecida, con niveles socioeconómicos bajos, lo que agrega una mayor complejidad al patrón de exposición e involucra interacciones con otros determinantes de la salud, añadiendo un importante elemento de confusión para identificar asociaciones significativas. <sup>(18, 29)</sup> Esta situación de injusticia ambiental se ve acrecentada además por un acceso desigual a los mecanismos procesales, condicionados a su vez por componentes culturales, de reconocimiento social, participación y capital social. <sup>(29-30)</sup> La falta de estos elementos suele afectar más a las personas vulnerables y a los grupos desfavorecidos que residen cerca de estas instalaciones, lo que hace imposible que estos grupos sean informados o que se escuchen sus quejas y, por lo tanto, limita su capacidad de influir en los procesos de toma de decisiones para la gestión y búsqueda de soluciones. <sup>(30)</sup>



Hasta el 6 % de los europeos viven en las inmediaciones de instalaciones de tratamiento de residuos © E. Fdez

Una de las mayores limitaciones de los estudios epidemiológicos (EE) que han tratado de evidenciar asociaciones entre exposiciones a RM (o sus tratamientos) con impacto en la salud humana está asociado a la metodología empleada en la caracterización de la exposición, es decir, la concentración de distintos contaminantes que liberados a un medio ambiente son susceptibles de ingresar en el organismo humano. (26, 31) Actualmente existe un amplio consenso sobre el orden jerárquico de calidad de las aproximaciones utilizadas para dicha caracterización, según la cual el uso de la proximidad de la residencia a una instalación de residuos o área contaminada por distintas fracciones de residuos es considerado como la peor estimación de la exposición humana, mientras que la biomonitorización humana (cuantificación de contaminantes o sus metabolitos en tejidos o fluidos humanos) se considera el enfoque más preciso. (26, 28, 31, 32) Según la revisión llevada a cabo por Hoek *et al.* (2018), hasta un 85 % de 147 EE identificados sobre esta materia utilizaron indicadores cualitativos de exposición, basados en la descripción de la actividad contaminante, el municipio o código postal de residencia de los sujetos de estudio, o en la distancia de dicha residencia a las instalaciones de tratamiento de residuos mediante diferentes estimaciones métricas (escala continua o definición de áreas concéntricas alrededor del sitio con radio arbitrario). Solo el 12 % del total de estudios identificados utilizaron métodos de modelización de datos ambientales (principalmente datos de calidad del aire), un 1 % campañas

de monitorización ambiental dirigidas, y solo un % aplicaron un diseño de biomonitorización. (33) Una proporción muy similar sobre los métodos señalados se identificó en la revisión de los datos utilizados en estudios de vigilancia epidemiológica en zonas contaminadas con residuos realizada por Martín-Olmedo *et al.* (2018). (34)

El uso de la distancia y la residencia como indicativos de la exposición, considerando un gradiente homogéneo de contaminación decreciente a medida que aumenta la distancia a las fuentes, introduce importantes sesgos y errores en las estimaciones de asociación al no tener en cuenta importantes características del entorno local (ej. meteorología, topografía, etc.) y las particularidades de la fuente emisora de peligros (ej. altura de la chimenea en una incineradora) que pueden afectar significativamente a la dispersión de contaminantes en suelos y otros medios. (20, 26, 28) Por otra parte, este tipo de aproximaciones no tiene presente la coexistencia de múltiples rutas de exposición posibles. Cada proceso de gestión de residuos puede dar lugar a la liberación de contaminantes diversos, que afectan a distintas matrices ambientales atendiendo a sus propiedades físico-químicas y a las características climatológicas y topográficas del área donde están ubicadas, entre otros factores. (26, 28, 31) Así, por ejemplo, en el caso de la quema o incineración de RM, el aire es identificado como la principal ruta de dispersión de contaminantes que pueden afectar a la población general, (35) generando contaminantes como las dioxinas, las cuales, a su vez, pueden acabar depositándose y afectando a pastos, explotaciones ganaderas y cultivos. De este modo, la ingestión de ciertos alimentos contaminados como productos lácteos o huevos pueden representar una fuente indirecta de exposición que debería ser tomada en cuenta. (26, 28, 31) Otras prácticas, como la acumulación de RM en vertederos, pueden generar emisiones a la atmósfera de una amplia variedad de GEI y elementos tóxicos, pero también lixiviados contaminantes que pueden afectar a suelos, aguas superficiales y subterráneas, y, por tanto, a la población, incluso a una distancia significativamente mayor del punto

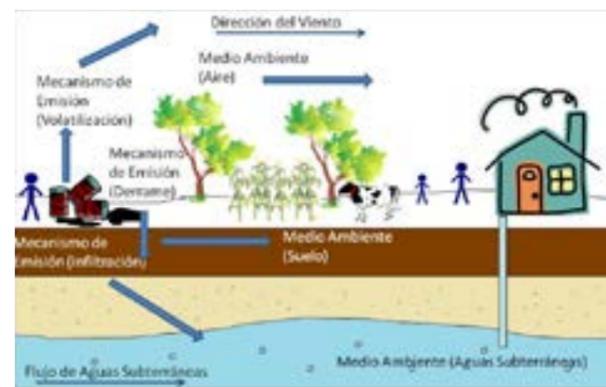


Figura 1– Ejemplo de un Escenario de Exposición – Destino y Transporte (adaptado con permiso fuente 31, 37)

de emisión o vertido de los residuos o su tratamiento. (26, 31, 36) La Figura 1 ilustra alguno de las matrices ambientales que pueden verse afectadas en la acumulación, tratamiento o eliminación de residuos, y cómo dichos contaminantes pueden moverse de un medio a otro.

### El aire es la principal ruta de dispersión de contaminantes al incinerar residuos que pueden afectar a la población, pero no la única

A su vez, los contaminantes presentes en un medio afectado, pueden ingresar en el organismo por diversas vías: ingestión (oral), inhalación, o por contacto dérmico. (31, 37) Por otra parte, es importante tener presente posibles variaciones temporales en la exposición asociadas tanto a fluctuaciones en las emisiones desde las fuentes a lo largo del tiempo (ej. picos en las masas de residuos que se incineran), como a la movilidad de la población. (26-28, 31)

En resumen, para definir modelos de exposición integrales que engloben las diversas rutas de exposición que pueden afectar a la población, es necesario recabar datos, lo más desagregados posible, de los siguientes aspectos: (26, 31, 37)



Caracterizar los residuos por su composición permitiría medir mejor el impacto en la salud © E. Fdez

- Medio afectados, mecanismos de transporte de un medio a otro y puntos de exposición (ej. agua de consumo, o agua de pozo, alimentos, aire, etc.), lo que nos permitirá conocer la extensión y alcance del área afectada, y los grupos poblacionales mayoritariamente afectados y más vulnerables.
- Identificación y cuantificación de todos los contaminantes existentes en cada punto de exposición, para determinar la magnitud de la exposición, a ser posible medidas en campañas que permitan conocer sus variaciones estacionales y temporales.



Las plantas de incineración generan gases en suspensión y residuos sólidos como ceniza y escoria

- Características de la población afectada, con información sobre sus características antropométricas, hábitos de consumo (determinarán la frecuencia y duración de la exposición), y características sociodemográficas y de salud basal para incluir en nuestro análisis el impacto que otros factores concomitantes puedan tener en el resultado en salud.
- Información toxicológica y epidemiológica cualitativa y cuantitativa (dosis-respuesta) acerca de los peligros encontrados en cada punto de exposición, para dirigir las vías de exposición más plausibles, así como los efectos en salud con los que se asocian y la gravedad de dichos efectos (ej. efecto cáncer u causas de morbi/mortalidad no cáncer, en adultos, en niños, etc.)

### La introducción de mejores técnicas en las incineradoras ha provocado una reducción de emisiones contaminantes

Un mayor esfuerzo y sistematización en la recogida de datos en continuo que permitan una caracterización espacial y temporal de la exposición humana por diversas vías a peligros existentes en los RM y sus fracciones, así

como una mayor y más eficaz integración de los sistemas de información sobre salud, exposición humana y evidencia epidemiológica/toxicológica es imprescindible para avanzar en la caracterización de los impactos en salud de los residuos. Este tipo de enfoque, como se ha demostrado en países como los Estados Unidos de América, necesita de una gran gestión gubernamental, proporcionando financiación y una adecuada interacción y colaboración entre las agencias de salud y ambientales a nivel regional y nacional. <sup>(34)</sup>

Analizaremos a continuación de forma resumida la evidencia disponible sobre efectos en salud asociados a distintos tipos de tratamiento de residuos (ver Tabla 2).

#### • Efectos en salud relacionados con incineradoras

Las incineradoras son unidades técnicas dedicadas al tratamiento térmico de residuos con o sin recuperación del calor generado. Como resultado del proceso de incineración se obtiene gases de combustión compuestos principalmente por CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> no reaccionado, N<sub>2</sub> del aire empleado para la combustión, y gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos (como dioxinas y furanos) que no se hayan oxidado, así como partículas en suspensión. <sup>(24, 28, 36)</sup> Asimismo, se generan residuos sólidos, compuestos fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión. <sup>(36)</sup>

La introducción de mejores técnicas en las incineradoras a lo largo de los años, ha provocado una reducción de emisiones contaminantes de hasta 3 o 4 órdenes de magnitud, con la consiguiente disminución de riesgos esperados para la salud humana. <sup>(41-43)</sup> Las muchas modificaciones acontecidas en el tiempo en las condiciones de estas instalaciones, así como el hecho de que la mayoría de efectos en salud analizados sean considerados como enfermedades poco comunes (“raras”), y que sea preciso realizar un seguimiento de numerosos individuos durante largos períodos de tiempo en comunidades pequeñas; o que la exposición en su mayoría no se basa en mediciones individuales, han dificultado el cálculo de estimaciones de riesgos tanto en estudios epidemiológicos individuales como a través de metanálisis. Detalles más específicos sobre efectos en salud resumidos en Tabla 2.

#### • Efectos de los vertederos

Los vertederos son depósitos controlados subterráneos o de superficie de almacenamiento de residuos por períodos de tiempo superiores a los considerados para el almacenamiento temporal. Estos dispositivos deben estar dotados de elementos de impermeabilización con la finalidad de evitar la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, y de la atmósfera. Actualmente la normativa española de residuos <sup>(2)</sup> prohíbe taxativamente el vertido de residuos de manera no controlada en todo el territorio nacional con objeto de evitar problemas de contaminación, generación de sustancias peligrosas, transmisión de enfermedades o ser posible foco de incendios.

Los peligros más comúnmente relacionados con los vertederos, especialmente con dispositivos abiertos y los no controlados, son emisiones de gases (ej. H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, vapores de mercurio, compuestos orgánicos volátiles, etc.), así como lixiviados contaminados con metales pesados, plaguicidas, principios farmacéuticos y microorganismos patógenos. <sup>(36, 38)</sup> Los efectos en salud identificados y asociados con residir cerca de vertederos se han resumido en la Tabla 2.

#### • El compostaje

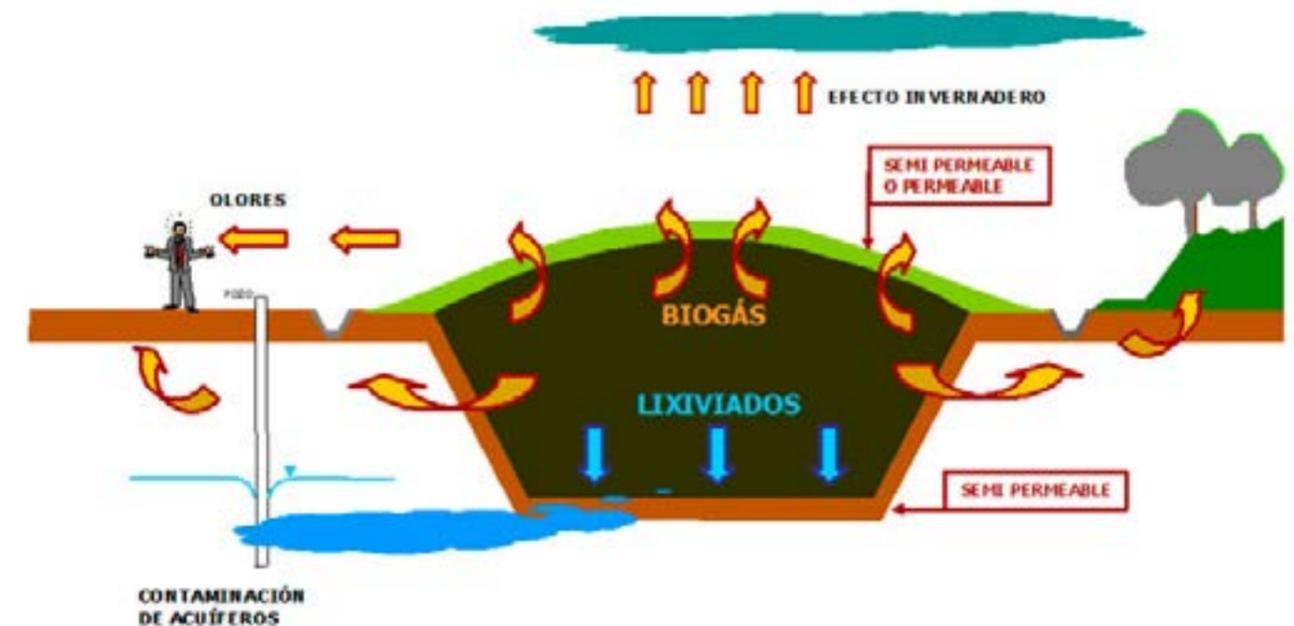
Los peligros asociados con el compostaje incluyen algunos GIA (ej. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), COVs, aerosoles que pueden a su vez contener bacterias, hongos, actinomicetos, endotoxinas y 1-3 glucanos que pueden provocar alteraciones respiratorias, y afecciones dérmicas (piel, ojos). Tales efectos han sido más ampliamente estudiados en trabajadores de plantas de compostaje, especialmente en sistemas abiertos. Los estudios que han abordado los posibles efectos en salud en relación a plantas de compostaje, se han centrado fundamentalmente en los trabajadores de dichas instalaciones. No obstante, existen cierta evidencia en población general <sup>(ver Tabla 2)</sup>.

### Acciones para definir el impacto en salud y reducirla

Como ya se ha comentado, los residuos han sido reconocidos como una prioridad de salud ambiental y como tal recogido en el PESMA 2022-2026. <sup>(19)</sup> Entre las iniciativas resaltamos las siguientes:



Biomasa descargada en una estación de compostaje que puede contener bacterias, hongos y endotoxinas



Tipo de fracción de residuos	Descripción	Elementos de peligrosidad asociados a cada fracción
<b>Biorresiduos</b>	Residuos orgánicos, biodegradables de origen vegetal y/o animal, generados en el ámbito domiciliario y comercial (siempre que estos últimos sean similares a los primeros). Densidad elevada y baja compactabilidad.	Pueden generar lixiviados, malos olores, crecimiento de microorganismos patógenos y emisión de gases de efecto invernadero (GEI) así como compuestos orgánicos volátiles (COVs) durante su gestión <sup>2</sup> . Asimismo, podrían generar un aumento indirecto de resistencia a antimicrobianos por la coexistencia en el medio ambiente de patógenos con principios activos de medicamentos eliminados junto con los biorresiduos.
<b>Papel y cartón</b>	Existen unas 500 variedades de papeles, incluyendo los empleados en componentes del automóvil, fricción en frenos y transmisión, papel electrónico en cables y transformadores de alto voltaje, cartón dieléctrico con efectos aislantes, etc.	Pueden contener elementos perjudiciales para la salud como fenoles, ftalatos, policlorobifenilos y algunos tipos de metales pesados <sup>3</sup> .
<b>Vidrio</b>	Generalmente elementos con una elevada proporción de sílice (SiO <sub>2</sub> ), aunque en algunos casos pueden incorporar metales como el plomo (ej. tubos de rayos catódicos de las pantallas de televisión).	Fracción considerada habitualmente inerte, puede contener concentraciones relativamente importantes de metales tóxicos como bario, cadmio, plomo, zinc y arsénico <sup>4</sup> .
<b>Aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)</b>	Productos complejos con numerosos componentes: piezas metálicas y plásticas, madera o metal, tarjetas de circuitos impresos, tubos de rayos catódicos, pantallas de cristal líquido, cables, pilas, baterías, componentes eléctricos y electrónicos, diversos fluidos, etc.	Presencia de sustancias peligrosas, entre ellas gases como el clorofluorocarbono, o el hidroclorofluorocarbono, o compuestos orgánicos persistentes (ej. ftalatos, fenoles), y metales pesados (Ej. cadmio, mercurio, plomo o arsénico). En su combustión se pueden generar además importantes cantidades de dioxinas <sup>5, 6</sup> .
<b>Pilas y baterías</b>	Dispositivos que permiten la obtención de energía eléctrica por transformación de energía química.	Su principal amenaza está ligada a la presencia de metales pesados <sup>7, 8</sup> , aunque su potencial tóxico se suele asimilar al de los RAEE <sup>9</sup> .
<b>Textil y calzado</b>	Comprende una amplia gama de productos desde fibras naturales como algodón, yute, seda y lana, a fibras sintéticas/artificiales como poliéster, plásticos, viscosa, nailon y acrílico <sup>10</sup> .	Segunda industria más contaminante en el mundo tras la del petróleo <sup>10</sup> social y ambiental promovido por la ONU. En el marco de los trabajos desarrollados en el equipo de investigación IDI UNNOBA y en concordancia con los lineamientos expuestos en anteriores congresos, se presenta una mirada comparativa entre dos modelos que conviven actualmente en el Sistema de la moda: uno expansivo, comenzado en la Revolución Industrial y otro que emerge en las últimas décadas junto a la exposición del conocimiento sobre la finitud de los recursos naturales y el cuestionamiento de la calidad de vida de los individuos. Palabras Claves: Diseño-Sostenible-Moda-Modelos El impacto del Sistema de la moda De acuerdo al Danish Fashion Institute (2013). Se han identificado hasta 22 químicos perjudiciales con el medio ambiente y la salud relacionados con la industria textil y sus residuos, entre ellos metales pesados (ej. arsénico, plomo, cadmio, mercurio, níquel, and cobalto) y COVs <sup>11</sup> .
<b>Medicamentos</b>	Sustancias medicinales destinadas a prevenir, tratar, aliviar o curar enfermedades o dolencias.	Peligrosidad asociada a su eliminación no separada dentro del conglomerado de RM, pudiendo inducir un aumento de las resistencias antimicrobianas, entre otros efectos <sup>12</sup> .
<b>RESIDUOS SANITARIOS</b>	Aquellos generados en centros sanitarios y veterinarios, incluidos los envases	Propagación de enfermedades infecciosas, contaminación química, contaminación farmacológica, radioactividad y o genotoxicidad <sup>13, 14</sup> .
<b>Aceites de cocina usados</b>	Grasas animales o vegetales utilizadas para cocinar que son desechados.	Riesgo de eutrofización de las aguas y daño a la biota <sup>15</sup>
<b>Envases</b>	Pueden ser de plástico, vidrio, papel, cartón, madera, metal o combinaciones de distintos materiales.	Posibilidad de migración de ciertos componentes (ej. ftalatos, bisfenol-A, metales pesados) a los alimentos que contienen <sup>16, 17</sup> . Contaminación de suelos y aguas por componentes de no tener un tratamiento diferenciado específico. Otra importante problemática la constituyen los microplásticos que pueden generarse <sup>18, 19</sup>

Tabla 1: Descripción de fracciones de residuos no peligrosos presentes en RM y peligrosidad intrínseca atendiendo a su composición

Tratamiento RM	Principales efectos en salud	Referencia
<b>Incineradoras</b>	• Efecto sobre sistema respiratorio y digestivo → Cáncer de pulmón y laringe (1º y 2º generación de incineradoras) y cáncer de estómago, colon e hígado (1º generación)	25, 44-46
	• Efecto sobre sistema linfático → Linfoma No Hodgkin's	44, 47, 48
	• Efectos en el desarrollo fetal y neonatal → defectos tubo neural (1º generación), labio y paladar hendido (2º generación), Uropatías obstructivas (2ª generación), aumento de mortalidad en neonatos (2ª generación) y anomalías congénitas.	49, 50
	• Efectos sobre la piel → Sarcoma de tejidos blandos	25, 51, 52
<b>Vertederos</b>	• Efectos sobre sistema cardiovascular → Potencial asociación con el desarrollo de diabetes e hipertensión	56
	• Efectos sobre sistema digestivo, inmune y linfático → Cáncer de páncreas, laringe, hígado, riñón, alteración de respuesta inmunitaria y desarrollo de linfoma No Hodgkin's	20, 24, 41
	• Efecto sobre sistema respiratorio → Tos, fatiga, bronquitis crónica y cáncer pulmonar.	20, 41, 54
<b>Compostaje</b>	• Efecto sobre desarrollo fetal y neonatal → Potencial asociación a parto pre-término, poco tamaño al nacer y asociación con abortos.	39, 40
	• Potencial asociación con el aumento de admisión hospitalaria.	25, 55-57

Tabla 2: Resumen de efectos en salud identificados relacionados con los distintos tratamientos de RM para su eliminación

- Reforzar las metodologías de gestión de residuos para minimizar las liberaciones de sustancias peligrosas, en concreto, fomentar y certificar el sistema de gestión de efluentes de fitosanitarios.
- Diseñar herramientas (cuestionario, diagnóstico de salud, etc.) para mejorar la recogida del historial de exposición humana en zonas poblacionales próximas a instalaciones de gestión de residuos, identificándose información de posibles factores de confusión que poder tener en cuenta en estudios epidemiológicos posteriores.
- Caracterizar y mapear las zonas de mayor exposición y diseñar y divulgar medidas de protección que minimicen dicha exposición.
- Mejorar la vigilancia epidemiológica y la caracterización de los efectos de los residuos sobre la salud humana.
- Mejorar los registros de calidad ambiental, con identificación y geolocalización de los diferentes puntos de máxima exposición de residuos para cada uno de los flujos de residuos. Mejora de la trazabilidad de los residuos.
- Identificar efectos en salud preclínicos relacionados con contaminantes presentes en residuos, y creación de un registro de casos de morbi-mortalidad más específicamente relacionados, según la evidencia científica, con compuestos tóxicos presentes en distinto tipo de residuos. ✿
- Mejora de la caracterización de la exposición humana en zonas de mayor prioridad relativa a instalaciones de gestión y tratamiento de residuos.

## Bibliografía

- Parlamento Europeo. Directiva 2008/98/CE del parlamento Europeo y del consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008.
- Zaman AU, Lehmann S. Urban growth and waste management optimization towards 'zero waste city'. City, Culture and Society, 2011, Vol 2(4), pp. 177-187
- Jefatura del Estado. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. 2022.
- Eurostat. Waste statistics - Data extracted in June 2019 [Internet]. 2019. Available from: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)

5. Eurostat. Waste management indicators - Data extracted November 2019 [Internet]. 2019. Available from: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_management\\_indicators&oldid=461870](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_management_indicators&oldid=461870)
6. European Environment Agency (EEA). Guidance for evaluationg waste prevention programmes. 2021. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-prevention>
7. EEA. Country profile. Overview of national waste prevention programmes in Europe.SPAIN, 2021. Dispñible en: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-prevention/countries/spain-waste-prevention-country-profile-2021/view> Comisión Europea. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos. 2011.
8. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. 2018.
9. Parlamento Europeo. Directiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases. Diario Oficial de la Unión Europea 2018.
10. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva (UE) 2018/849 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. 2018.
11. Unión Europea. Directiva (UE) 2018/850 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos. 2018.
12. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. 2019.
13. Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR). Madrid; 2015.
14. ECOEMBES. Resultados del Reciclaje 2019. 2020.
15. De La Barrera B, Hooda PS. Greenhouse gas emissions of waste management processes and options: A case study. *Waste Manag Res.* 2016;34(7):658–65.
16. Eurostat. Greenhouse gas emission statistics - emission inventories [Internet]. 2019. Available from: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse\\_gas\\_emission\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics)
17. Declaration of the Sixth Ministerial Conference on Environment and Health, Ostrava, Czech Republic, 13-15 June 2017. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/347444>)
18. Pastor A., Martín-Olmedo P., Cáceres Monllor D., Martínez Thomas G.A., González Muñoz S. SALUD Y RESIDUOS-Residuos “no peligrosos”: Evidencia sobre los efectos en salud y retos para su mejor caracterización. Ministerio de Sanidad; 2022. Madrid. NIPO: 133-22-111-X.
19. Ministerio de Sanidad y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico-Gobierno de España. Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente 2022-2026. Madrid, 2021
20. World Health Organization. Waste and human health: Evidence and needs. World Health Organization, regional office for Europe. Bonn,Germany: World Health Organization; 2015.
21. Tsatsakis AM, Docea AO, Tsitsimpikou C. New challenges in risk assessment of chemicals when simulating real exposure scenarios; simultaneous multi-chemicals’ low dose exposure. *Food Chem Toxicol.* 2016;96:174–6.
22. Kienzler A, Bopp SK, van der Linden S, Berggren E, Worth A. Regulatory assessment of chemical mixtures: Requirements, current approaches and future perspectives. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2016;80:321–34.
23. Sand S, Lindqvist R, Von Rosen D, Ilback NG. Dose-related severity sequence, and risk-based integration, of chemically induced health effects. *Toxicol Sci.* 2018;165(1):74–89.
24. Giusti L. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Manag.* 2009;29(8):2227–39. doi: 10.1016/j.wasman.2009.03.028
25. Vinti G, Bauza V, Clasen T, Medlicott K, Tudor T, Zurbrügg C, Vaccari M. Municipal Solid Waste Management and Adverse Health Outcomes: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Apr 19;18(8):4331. doi: 10.3390/ijerph18084331.
26. Martín-Olmedo P, Ranzi A, Santoro M, Dack S, de Hoogh K, Martuzzi M, Dogliotti E, Hoek G, Tomasova J, Dimovska M, Iavarone I. Methods and data needs to assess health impacts of chemicals in industrial contaminated sites. *Epidemiol Prev.* 2019 Jul-Aug;43(4):223-237. doi: 10.19191/EP19.4.A01.068.
27. Forastiere F, Badaloni C, de Hoogh K, von Kraus MK, Martuzzi M, Mitis F, Palkovicova L, Porta D, Preiss P, Ranzi A, Perucci CA, Briggs D. Health impact assessment of waste management facilities in three European countries. *Environ Health.* 2011 Jun 2;10:53. doi: 10.1186/1476-069X-10-53
28. Cordioli M, Ranzi A, De Leo G, Lauriola P. A review of exposure assessment methods in epidemiological studies on incinerators. *J Environ Public Health.* 2013;2129470. doi: 10.1155/2013/129470.
29. Pasetto R, Mattioli B, Marsili D (2019). Environmental justice in industrially contaminated sites. A review of scientific evidence in the WHO european region. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(6). doi: 10.3390/ijerph16060998.
30. Davis LF, Ramírez-Andreotta MD (2021). Participatory Research for Environmental Justice: A Critical Interpretive Synthesis. *Environ Health Perspect* 129(2): 26001. doi: 10.1289/EHP6274.
31. Martín-Olmedo P., Carroquino Saltó MJ, Ordóñez Iriarte JM, Moya J. (editores). La Evaluación de riesgos en salud. Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la metodología de Evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos. Madrid. Sociedad Española de Sanidad Ambiental y Escuela Andaluza de Salud Pública. Serie “De aeribus, aquis et locis”, nº 3. 2016. ISBN: 978-84-617-6362-7
32. US NRC (2006). Human biomonitoring for environmental chemicals, National Academies Press. Washington DC.
33. Hoek G, Ranzi A, Alimehmeti I, Ardeleanu E-R, Arrebola JP, Avila P, et al. A review of exposure assessment methods for epidemiological studies of health effects related to industrially contaminated sites. *Epidemiol Prev.* 2018;42(5-6S1):21–36.
34. Martín-Olmedo P, Hams R, Santoro M, Ranzi A, Hoek G, De Hoogh K, et al. Environmental and health data needed to develop national surveillance systems in industrially contaminated sites. *Epidemiol Prev.* 2018;42(5–6):11–20
35. Xu P, Chen Z, Wu L, Chen Y, Xu D, Shen H, et al. Health risk of childhood exposure to PCDD/Fs emitted from a municipal waste incinerator in Zhejiang, China. *Sci Total Environ.* 2019;689:937–44.
36. Yu Y, Yu Z, Sun P, Lin B, Li L, Wang Z, et al. Effects of ambient air pollution from municipal solid waste landfill on children’s non-specific immunity and respiratory health. *Environ Pollut.* 2018;236:382–90. doi: 10.1016/j.envpol.2017.12.094
37. U.S. EPA. (2004a) Example exposure scenarios. (EPA 600/R03/036). Washington, DC. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=85843>
38. Wu C, Liu J, Liu S, Li W, Yan L, Shu M, et al. Assessment of the health risks and odour concentration of volatile compounds from a municipal solid waste landfill in China. *Chemosphere.* 2018;202:1–8. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.068.
39. Shaddick G, Ranzi A, Thomas ML, Aguirre-Perez R, Dunbar Bekker-Nielsen M, Parmagnani F, et al. Towards an assessment of the health impact of industrially contaminated sites: waste landfills in Europe. *Epidemiol Prev.* 2018 Sep-Dec;42(5-6 Suppl 1):69-75. doi: 10.19191/EP18.5-6.S1.P069.089.
40. Mazzucco W, Tavormina E, Macaluso M, Marotta C, Cusimano R, Alba D, et al. Do emissions from landfill fires affect pregnancy outcomes? A retrospective study after arson at a solid waste facility in Sicily. *BMJ Open.* 2019 Jul 4;9(7):e027912. doi: 10.1136/bmjopen-2018-027912.
41. Mattiello A, Chiodini P, Bianco E, Forgiione N, Flammia I, Gallo C, et al. Health effects associated with the disposal of solid waste in landfills and incinerators in populations living in surrounding areas: A systematic review. *Int J Public Health.* 2013 Oct;58(5):725-35. doi: 10.1007/s00038-013-0496-8.
42. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010 sobre emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). 2010.
43. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. Madrid; 2011
44. Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I, Jolley D, Grundy C, Walls P, et al. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *BBr J Cancer.* 1996 Mar;73(5):702-10. doi: 10.1038/bjc.1996.122.

45. Ancona C, Badaloni C, Mataloni F, Bolignano A, Bucci S, Cesaroni G, et al. Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of air pollution: A retrospective cohort study using air dispersion models. *Environ Res.* 2015 Feb;137:467-74. doi: 10.1016/j.envres.2014.10.036.
46. Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci CA, Forastiere F. Mortality and morbidity among people living close to incinerators: a cohort study based on dispersion modeling for exposure assessment. *Environ Health.* 2011 Mar 24;10:22. doi: 10.1186/1476-069X-10-22.
47. Michelozzi P, Fusco D, Forastiere F, Ancona C, Dell'Orco V, Perucci CA. Small area study of mortality among people living near multiple sources of air pollution. *Occup Environ Med.* 1998 Sep;55(9):611-5. doi: 10.1136/oem.55.9.611.
48. Viel J-F, Arveux P, Baverel J, Cahn J-Y. Soft-Tissue Sarcoma and Non-Hodgkin's Lymphoma Clusters around a Municipal Solid Waste Incinerator with High Dioxin Emission Levels. *Am J Epidemiol.* 2000 Jul 1;152(1):13-9. doi: 10.1093/aje/152.1.13.
49. Cordier S, Lehébel A, Amar E, Anzivino-Viricel L, Hours M, Monfort C, et al. Maternal residence near municipal waste incinerators and the risk of urinary tract birth defects. *Occup Environ Med.* 2010;67(7):493-9.
50. Parkes B, Hansell AL, Ghosh RE, Douglas P, Fecht D, Wellesley D, et al. Risk of congenital anomalies near municipal waste incinerators in England and Scotland: Retrospective population-based cohort study. *Environ Int.* 2020;134:104845.
51. Comba P, Ascoli V, Belli S, Benedetti M, Gatti L, Ricci P, Tieghi A. Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occup Environ Med.* 2003 Sep;60(9):680-3. doi: 10.1136/oem.60.9.680.
52. Zambon P, Ricci P, Bovo E, Casula A, Gattolin M, Fiore AR, Chiosi F, Guzzinati S. Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: a population-based case-control study (Italy). *Environ Health.* 2007 Jul 16;6:19. doi: 10.1186/1476-069X-6-19.
53. Norsa'adah B, Salinah O, Naing NN, Sarimah A. Community Health Survey of Residents Living Near a Solid Waste Open Dumpsite in Sabak, Kelantan, Malaysia. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Jan 2;17(1):311. doi: 10.3390/ijerph17010311.
54. Mataloni F, Badaloni C, Golini MN, Bolignano A, Bucci S, Sozzi R, et al. Morbidity and mortality of people who live close to municipal waste landfills: a multisite cohort study. *Int J Epidemiol.* 2016;45(3):806-15. doi: 10.1093/ije/dyw052
55. Robertson S, Douglas P, Jarvis D, Marczylo E. Bio-aerosol exposure from composting facilities and health outcomes in workers and in the community: A systematic review update. *Int J Hyg Environ Health.* 2019 Apr;222(3):364-386. doi: 10.1016/j.ijheh.2019.02.006.
56. Douglas P, Bakolis I, Fecht D, Pearson C, Leal Sanchez M, Kinnersley R, et al. Respiratory hospital admission risk near large composting facilities. *Int J Hyg Environ Health.* 2016;219(4-5):372-9.
57. Williams B, Douglas P, Roca Barcelo A, Hansell AL, Hayes E. Estimating *Aspergillus fumigatus* exposure from outdoor composting activities in England between 2005 and 14. *Waste Manag.* 2019;84:235-44. doi: 10.1016/j.wasman.2018.11.044

trup TF. Quantification of chemical contaminants in the paper and board fractions of municipal solid waste. *Waste Manag.* 2016;51:43-54.

4. Vellini M, Savioli M. Energy and environmental analysis of glass container production and recycling. *Energy.* 2009;34(12):2137-43.

5. Grant K, Goldizen FCFC, Sly PDPD, Brune M-NM-N, Neira M, van den Berg M, et al. Health consequences of ex-

posure to e-waste: a systematic review. *Lancet Glob Heal.* 2013;1(6):e350-61.

6. Akram R, Natasha, Fahad S, Hashmi MZMZ, Wahid A, Adnan M, et al. Trends of electronic waste pollution and its impact on the global environment and ecosystem. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019;26(17):16923-38.

7. Afolayan AO. Accumulation of Heavy Metals from Battery Waste in Topsoil, Surface Water, and Garden Grown Maize at Omilende Area, Olofin, Nigeria. *Glob Challenges.* 2018;2(3):1700090.

8. Zhang J, Chen C, Zhang X, Liu S. Study on the Environmental Risk Assessment of Lead-Acid Batteries. *Procedia Environ Sci.* 2016;31:873-9. doi:10.1016/j.proenv.2016.02.103

9. Awere E, Obeng PAA, Bonoli A, Obeng PAA. E-waste recycling and public exposure to organic compounds in developing countries: a review of recycling practices and toxicity levels in Ghana. *Environ Technol Rev.* 2020;9(1):1-19. doi:10.1080/21622515.2020.1714749

10. Khan S, Malik A. Environmental and health effects of textile industry wastewater. In: *Environmental Deterioration and Human Health: Natural and Anthropogenic Determinants.* Springer Netherlands; 2014. p. 55-71. doi:10.1007/978-94-007-7890-0\_4

11. Kant R. Textile dyeing industry an environmental hazard. *Nat Sci.* 2012;04(01):22-6. doi:10.4236/ns.2012.41004

12. Wang Y, Zhang R, Lei Y, Song L. Antibiotic resistance genes in landfill leachates from seven municipal solid waste landfills: Seasonal variations, hosts, and risk assessment. *Sci Total Environ.* 2022 Sep 9;158677. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158677.

13. Letho Z, Yangdon T, Lhamo C, Limbu CB, Yoezer S, Jamtsho T, Chhetri P, Tshering D. Awareness and practice of medical waste management among healthcare providers in National Referral Hospital. *PLoS One.* 2021 Jan 6;16(1):e0243817. doi: 10.1371/journal.pone.0243817

14. World Health Organization. Management of Solid Health-Care Waste at Primary Health-Care Centres A Decision-Making Guide WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Management of solid health-care waste at primary health-care centres : a decision-making guide. 2005.

15. Hosseinzadeh-Bandbafha H., Nizami A., Kalogirou S.A., Gupta VK., Park Y-K., et al. Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022; 161:112411. doi:10.1016/j.rser.2022.112411

16. Geueke B, Groh KJ, Maffini MV, Martin OV, Boucher JM, et al. Systematic evidence on migrating and extractable food contact chemicals: Most chemicals detected in food contact materials are not listed for use. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2022 May 18:1-11. doi: 10.1080/10408398.2022.2067828.

17. Zimmermann L, Scheringer M, Geueke B, Boucher JM, Parkinson LV, Groh KJ, Muncke J. Implementing the EU Chemicals Strategy for Sustainability: The case of food contact chemicals of concern. *J Hazard Mater.* 2022 Sep 5;437:129167. doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.129167

18. Jadhav EB., Sankhla MS., Bhat RA, Bhagat DS. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management,* 2021; 16: 100608. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100608>

19. Karbalaeei S, Hanachi P, Walker TR, Cole M. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018;25(36):36046-63. doi:10.1007/s11356-018-3508-7

20. Horner JM. Environmental health implications of heavy metal pollution from car tires. *Rev Environ Health.* 1996;11(4).

21. Nadal M, Rovira J, Díaz-Ferrero J, Schuhmacher M, Domingo JL. Human exposure to environmental pollutants after a tire landfill fire in Spain: Health risks. *Environ Int.* 2016;97:37-44.

22. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias. Plan Nacional de preparación y respuesta frente a enfermedades transmitidas por vectores. Parte I: Dengue, Chikungunya y Zika. Madrid; 2016.

23. Correspondencia: [piedad.martin.easp@juntadeandalucia.es](mailto:piedad.martin.easp@juntadeandalucia.es)





El Viejo Madrid visto desde la Casa de Campo, uno de los mayores parques forestales de Europa integrados en la metrópoli

# Ciudades saludables, justas y sostenibles: un reto muy actual

**Manuel Franco**

Investigador y profesor de Epidemiología y Salud Pública, Universidad de Alcalá de Henares. Profesor invitado, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

**S**eis años son muchos años. Y si los puedes vivir con salud y disfrutar con tranquilidad en una buena casa, rodeado de tu gente, entonces se convierten en una eternidad maravillosa. Seis años es la diferencia en esperanza de vida entre los barrios más ricos y los más desfavorecidos de Madrid. Tenemos mucho por hacer para mejorar la salud de las personas que vivimos en ciudades y que la disfrutemos todos.

La epidemiología y la salud pública, disciplinas de rabiosa actualidad, llevan décadas estudiando cómo enfermamos y morimos de las mismas enfermedades crónicas en todos los países del planeta. Pero unos morimos antes y otros después y unas personas tienen mayor calidad de vida que otras. Es lo que denominamos el gradiente social de las enfermedades; porque todas las enfermedades lo presen-

tan y todas las sociedades lo producen. La salud y la enfermedad no son cuestiones individuales. Dependen del entorno físico y social donde vivimos y, en menor medida, del sistema sanitario que tenemos.

Para el año 2050, dos tercios del planeta viviremos en ciudades y en Europa y España ya lo hacemos el 80 % de la población. Las ciudades son entes dinámicos que no son insalubres y desiguales por definición. Las estamos diseñando y transformando cada día. La investigación en salud urbana une investigadores en salud pública, epidemiología, geografía, sociología, economía, y urbanismo —entre otras disciplinas—, estudia el nivel de salud y enfermedad de las poblaciones urbanas e investiga cuáles son las características que hacen de nuestros barrios entornos más saludables y habitables.

## Segregación social y desigualdad

La investigación en salud urbana crea conocimiento nuevo con el objetivo de mejorar nuestras ciudades, nuestros barrios, para mejorar nuestra salud y nuestras vidas. Las ciudades globales contemporáneas —y Madrid es un buen ejemplo de estas— se caracterizan por una enorme segregación social y espacial que determinan las crecientes desigualdades en salud. Nuestras ciudades desiguales incluyen barrios donde unas personas tienen 10 años más de esperanza de vida como en Madrid o incluso hasta 16 años de diferencia como ocurre en Baltimore y otras ciudades americanas. Si muchos investigadores se plantean el “derecho a la ciudad”, desde la perspectiva de la salud urbana nos planteamos el “derecho a la salud” dentro de nuestras ciudades. La ciencia obedece a la curiosidad sistemática y nos obliga a plantear preguntas relevantes: ¿por qué ocurren estas enormes y crecientes desigualdades en salud?, ¿cómo aparecen?, ¿con quién contamos a la hora de estudiar la salud en las ciudades?, ¿para quién hacemos estas investigaciones?, ¿dónde las llevamos a cabo?

El Estudio de Salud de la Ciudad de Madrid 2018, que ha presentado recientemente Madrid Salud muestra una vez más diferencias significativas en Esperanza de Vida y esperanza de vida en buena salud entre los 21 distritos que componen el municipio de Madrid. En Madrid, investigadores en salud urbana conocemos bien los 128 barrios de la ciudad desde el punto de vista del acceso a distintos tipos de comida, posibilidades para hacer

**En muchas ciudades europeas ya se regula el tipo de tiendas de alimentación dirigidas a niños**

ejercicio o acceso al alcohol y al tabaco. Estos cuatro ámbitos urbanos condicionan lo que comemos, cómo de activos estamos, lo que bebemos y lo que fumamos. Por lo tanto, nuestro barrio, nuestra ciudad, influye en el riesgo de tener enfermedades crónicas, dolencias cardiovasculares y cáncer, entre otras. Las ciudades, con las políticas que se toman o dejan de tomarse, pueden tener una gran influencia sobre la salud y las desigualdades de sus ciudadanos.

## Transformar la alimentación escolar

Una dieta sana y sin alimentos procesados es un factor clave para la salud. En Madrid, mostramos cómo el 95% los escolares madrileños están expuestos a malos alimentos alrededor de sus centros educativos y que la oferta de comida basura es un 60 % mayor junto a los colegios de barrios desfavorecidos que a los barrios medios. En un estudio participativo fotográfico en el distrito de Villaverde, personas vecinas de dos barrios destacaron la importancia de mejorar el pequeño comercio y la educación en los más pequeños. En muchas ciudades europeas, como por ejemplo Londres, ya se está regulando el tipo de tiendas de alimentación y la publicidad dirigida a los más pequeños. Hoy en día entendemos la alimentación dentro del concepto de los sistemas alimentarios complejos, como nuestras ciudades, que unen una perspectiva no sólo de salud sino también de sostenibilidad social y ecológica de ese sistema desde la producción a su distribución consumo.

Los sistemas alimentarios escolares de nuestros niños y adolescentes ofrecen espacios prometedores para mejorar su dieta y salud con un enfoque especial en la sostenibilidad de la producción, la distribución, y la preparación y manejo de alimentos. Las intervenciones de los sistemas de alimentación escolar pueden ir desde los subsidios alimentarios e impuestos hasta el suministro de comidas saludables y sostenibles y la mejora del entorno alimentario escolar. Las escuelas pueden convertirse en catalizadores de un cambio sistémico y de múltiples actores.

Los niños y jóvenes pasan la mayor parte de sus días en la escuela, lo que la convierte no solo en un lugar para aprender, sino también para comer y socializar. El pro-

yecto europeo 'School Food For Change' (SF4C) <https://schoolfood4change.eu> combina todos estos elementos para tener un impacto positivo a largo plazo en los comedores escolares de Europa. El proyecto de cuatro años financiado por la UE se propone redefinir lo que significa comer de manera saludable y sostenible en la escuela, al mismo tiempo que aborda la educación alimentaria en varios niveles. El School Food 4 Change incluye múltiples actores: cocineros, proveedores de catering y compradores públicos a nivel de ciudad, con el objetivo de crear un efecto dominó, impactando hasta dos millones de ciudadanos en los 12 países de la UE participantes.

En línea con la Estrategia de la Granja a la Mesa de la UE y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, el proyecto desarrolla soluciones innovadoras y buenas prácticas para escuelas, proveedores de comidas escolares, autoridades responsables y legisladores. Para lograr el ambicioso objetivo de alcanzar un cambio en el sistema alimentario escolar, los 43 socios involucrados en SF4C, siguen un enfoque holístico de varios niveles: esto implica el desarrollo de criterios y métodos de adquisición de alimentos innovadores y sostenibles, la promoción de dietas y cocina para la salud planetaria y la introducción de un enfoque de alimentación escolar integral.

## Sedentarismo, tabaco y alcohol

La falta de actividad física, el sedentarismo, es otro de los factores fundamentales que aumentan el riesgo de muchas enfermedades crónicas. En ciudades como Madrid con enormes procesos de envejecimiento, la posibilidad de que nuestros mayores, anden, participen en actividades de ejercicio físico moderado, como puede ser el baile, son fundamentales, para su salud física y para su salud mental. Al estudiar los parques, las calles y las instalaciones deportivas como medios para que la población estemos más físicamente activos, hemos encontrado que los barrios con menor nivel socioeconómico tienen un menor número de centros deportivos a su alrededor que los barrios con mayor nivel.

También en Madrid hemos estudiado como el alcohol está presente en cualquier lado y a cualquier hora en nuestros barrios. La disponibilidad en tiendas y bares, su promoción

**Nuestra ciudad influye en el riesgo de padecer enfermedades crónicas, cardiovasculares y cáncer**



Los colegios deben catalizar cambio en las costumbres dietéticas de los niños



Los barrios con más nivel socioeconómico disponen de mejor oferta de instalaciones deportivas © E. Fdez

En las 200 terrazas analizadas existían partículas dañinas en suspensión por causa del tabaco

y publicidad, así como los signos de consumo son omnipresentes en nuestras calles. Personas residentes de Villaverde y en Chamberí que participaron en nuestro proyecto de investigación 'Alcohol y Ciudad' en el que destacaron el rol del alcohol en nuestros procesos de socialización y la omnipresencia de la publicidad de bebidas alcohólicas.

El tabaquismo sigue siendo muy alto en España en comparación con otros países. En las ciudades nos encontramos con fenómenos muy interesantes como es la apropiación de las terrazas, entradas a bares y restaurantes e incluso marquesinas de autobuses como lugares para fumar. Estudiamos esta situación en más 200 terrazas representativas de los 21 distritos de Madrid para conocer el alcance del problema. El resultado: prácticamente en todas se fuma, por encima del 95 % en verano y del 90 % en otoño. Y lo que es peor, todos los niveles de concentración de partículas dañinas para la salud estaban por encima de los niveles mínimos recomendados en las guías de calidad del aire.

Y en los últimos años hemos pasado la Covid-19 como gran problema de salud pública, que también es un problema de salud urbana la Covid-19 como gran problema de salud pública, que también es un problema de salud urbana que ya ha mostrado su gradiente social en ciudades globales como Madrid, Nueva York o la ciudad de México. En el caso de la Covid-19, conocer y actuar sobre las desigualdades urbanas resulta ineludible y urgente por justicia social, porque estas desigualdades son evitables e incluso egoístamente desde las clases favorecidas, porque para el control de cualquier enfermedad infecciosa, es necesario abarcar la totalidad de nuestras poblaciones. Para ello es clave que las áreas más afectadas sean las que reciban más recursos en salud pública, sanitarios y servicios sociales.

**Los barrios desfavorecidos tienen menos centros deportivos a su alrededor que las zonas de nivel alto**

En muchas ciudades del planeta tenemos los datos de salud de nuestra población y sus correspondientes datos socioeconómicos y urbanos como pueden ser el transporte, la contaminación y el consumo de alimentos. Tenemos ya evidencia científica amplia y suficiente sobre aspectos urbanos que se relacionan con las desigualdades socioeconómicas, la salud de nuestras poblaciones y la sostenibilidad de nuestras ciudades. La ciudadanía es crítica y está preparada para mejorar nuestras ciudades. La gran pregunta pendiente es: ¿tenemos todos la voluntad y las herramientas políticas para crear ciudades más justas, sostenibles y saludables.



En las ciudades envejecidas hay que incentivar al ciudadano para que camine. La Barceloneta. © E. Fdez



## Proyecto Nextgem El impacto en la salud de los campos electromagnéticos

Hace solo tres meses, a primeros de julio, comenzaba Nextgem, proyecto europeo formado por 20 instituciones de diez países diferente que, durante los próximos cuatro años, analizará los efectos sobre la salud y el medio ambiente de la exposición a los campos eléctricos y magnéticos provocada por el uso de tecnologías de telecomunicación. Investigadores del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC) coordinarán la recogida de datos, participarán en la evaluación de los efectos y organizarán la divulgación de los resultados.

Este proyecto, financiado con más de 7,5 millones de euros por la Unión Europea, buscará garantizar la seguridad de los ciudadanos de la UE en el uso de tecnologías de telecomunicación basadas en campos electromagnéticos (CEM). Nextgem formará parte del clúster CEM y Salud, junto a otros tres proyectos de Horizonte Europa (Seawave, Etain, Goliat) seleccionados en la convocatoria Exposición a campos electromagnéticos (CEM) y salud. El objetivo es optimizar las sinergias, evitar solapamientos y aumentar el impacto de los proyectos.

El objetivo de Nextgem es garantizar a los ciudadanos de la UE una vida sana y un entorno de trabajo seguro al emplear las tecnologías de telecomunicación existentes y futuras basadas en los CEM. Esto se logrará mediante la generación de conocimientos que identifiquen las medidas de control apropiadas de la exposición a los CEM en los entornos residenciales, públicos y laborales, que sean fiables para las personas y estén en consonancia con los reglamentos y las leyes emitidos por las autoridades públicas.

Para ello, proporcionará un marco para generar conocimiento y datos científicos relevantes para la salud sobre nuevos escenarios de exposición a CEM en múltiples frecuencias. El proyecto también pretende desarrollar y validar herramientas para la evaluación de riesgos basada en pruebas. Asimismo, también creará el Centro de Innovación y Conocimiento para los CEM y la salud, que ofrecerá una forma estandarizada para que las autoridades reguladoras europeas y la comunidad científica almacenen y evalúen los resultados de los proyectos y los conocimientos sobre cómo la exposición a los CEM afecta a la salud.

Coordinado por la Fundación para la Investigación y la Tecnología-Hellas (FORTH), en Creta (Grecia), el consorcio cuenta con la participación de 20 organizaciones: 4 instituciones de investigación (FORTH, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Centre Internacional de Mètodes Numerics en Enginyeria), 6 universidades (Universidad de Cassino, Universidad de Ciencias Aplicadas de La Haya, Universidad Tecnológica de Delft, Universidad Hebrea de Jerusalén, Universidad Johannes Gutenberg de Mainz, y la Universidad de Zúrich), 5 organizaciones públicas y gubernamentales (Instituto Nacional de Salud italiano, Instituto Nacional de Salud Pública de Bélgica, Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente, Ministerio de Sanidad de España y la Agencia de Radiocomunicaciones holandesa), 3 pequeñas y medianas empresas (eBOS, SciProof International y Sphynx Analytic Solution) y 2 socios industriales (Intracom Telecom y Telecom Italia).

Cada uno de los socios aporta al consorcio su experiencia única, esencial para la ejecución del proyecto. Esto incluye las mediciones y la modelización de las fuentes CEM, la investigación de los posibles efectos sobre la salud mediante estudios experimentales y en humanos, la investigación de los posibles vínculos causales entre el nivel y la duración de la exposición a los CEM en los posibles efectos sobre la salud, la evaluación de riesgos y el desarrollo de un centro de innovación y conocimiento para la comunidad científica, las autoridades y la sensibilización de los ciudadanos.

Desde el ICMAB, los investigadores del grupo de Nanopartículas y Nanocompuestos (NN) participarán en el proyecto, y la oficina de Comunicación y Divulgación dará apoyo en algunas de las tareas. En concreto, los investigadores del ICMAB se encargarán de coordinar la recogida de datos para

la evaluación de riesgos a partir de estudios experimentales y observacionales, de coordinar los planes y actividades de difusión y comunicación, y de participar en varias tareas del proyecto relacionadas con la evaluación de los efectos de la exposición a los CEM. «Participaremos en el proyecto Nextgem estudiando los mecanismos bioquímicos y biofísicos de las respuestas a los campos electromagnéticos realizando estudios in vivo con el organismo modelo *Caenorhabditis elegans*. Tenemos una amplia experiencia trabajando con *C. elegans* para evaluar la toxicidad y los efectos de los nanomateriales en este sistema biológico, por lo que podemos aportar nuestra experiencia en este proyecto para evaluar los efectos de los CEM. Los *C. elegans* son nematodos transparentes de 1 mm, fáciles de cultivar y mantener, con un 60-80 % de homología genómica con los humanos, que se utilizan para realizar experimentos in vivo en el laboratorio y permiten una rápida evaluación de los nanomateriales», explica Anna Laromaine, investigadora del grupo NN.

«También estaremos en la planificación de los experimentos, en la evaluación de los resultados y en la preparación de las pautas de replicación. Actualmente estamos investigando en materiales para tecnologías de 5G, ondas milimétricas y terahercios, que son el rango de frecuencias de CEM de interés en el proyecto», afirma Martí Gich, investigador del grupo NN.

«Desde la Oficina de Comunicación y Divulgación daremos apoyo en la coordinación de las actividades de comunicación y divulgación y en la preparación de material de comunicación como notas de prensa, posts en redes sociales y vídeos, para aumentar el impacto del proyecto y asegurar que los resultados lleguen a las partes interesadas, incluido el público general», señala Anna May, responsable de comunicación. 🌿



El proyecto busca garantizar la seguridad en el uso de tecnologías de telecomunicación



## Bruselas plantea una restricción masiva de sustancias tóxicas

La Comisión Europea ha arrancado el proceso que puede concluir con la restricción del uso de miles de sustancias químicas que hoy son de uso común y que algunos estudios científicos relacionan con problemas de salud y para el medio ambiente.

Esta iniciativa se enmarca en la Estrategia de Sostenibilidad de Sustancias Químicas que el Ejecutivo comunitario presentó en octubre de 2020 y que persigue alcanzar un “entorno sin sustancias tóxicas” y que impulsará la innovación para el desarrollo de sustancias químicas “seguras y sostenibles”.

Entre las sustancias recogidas en su hoja de ruta se encuentra el policloruro de vinilo (PVC) y sus aditivos, sustancias perfluoroalquiladas o PFA (que se utiliza en envases de comida para llevar, ropa resistente al agua o cremas solares), bisfenol o BPA (presente en componentes de automóviles, equipos deportivos o CD y DVD) o sustancias ignífugas.

“Para cumplir con los compromisos de la estrategia de químicos, las partes interesadas necesitan transparencia y visibilidad en el trabajo que hay por delante. Esta hoja de ruta da esa visibilidad y permite a compañías y otros actores estar mejor preparados para potenciales nuevas restricciones”, declara el comisario de Mercado Interior, Thierry Breton. Para la organización European Environmental Bureau (EEB) se trata de “la mayor prohibición de sustancias químicas tóxicas de la UE” puesto que afecta a “miles” de compuestos que, calcula, estarán retirados del mercado del bloque comunitario para 2030.

Según los datos del Ejecutivo comunitario, la UE era en 2018 el segundo mayor productor de sustancias químicas del mundo, aglutinando casi un 17 % de las ventas, mientras que la producción química era ese año la cuarta mayor industria del bloque y proporcionaba unos 1,2 millones de puestos de trabajo.

El 59 % de las sustancias químicas se suministran directamente a otros sectores como la sanidad, la construcción, la automoción, la electrónica o los productos textiles, apunta Bruselas, quien en el momento de publicar su estrategia calculaba que la producción de sustancias químicas se va a duplicar hasta 2030.

La UE estudia caso por caso si está justificado restringir o prohibir el uso de una sustancia química determinada, un enfoque que, según EEB, ha fracasado en su

intento de mantener el ritmo del desarrollo industria de nuevos compuestos, que genera una sustancia nueva cada 1,4 segundos.

La organización apunta que la UE ha prohibido unos 2.000 químicos peligrosos en los últimos 13 años, aunque la mayoría cubren pocas categorías de productos, sobre todo cosméticos y juguetes. Su análisis señala que, con la nueva hoja de ruta, el bloque podría prohibir entre 4.000 y 7.000 sustancias para 2030



## Tecnologías fotónicas para reducir el uso de pesticidas

El previsible aumento de población, con el consiguiente aumento de la demanda de alimentos, el impacto medioambiental que suponen las prácticas agrarias y el panorama que la ONU describe para 2050 (caída de los rendimientos de los cultivos entre un 10% y un 50%), alerta de la necesidad de mejorar la producción haciéndola más sostenible. Es aquí donde la agricultura 4.0 aporta recursos para optimizar las prácticas agrícolas. En el marco del proyecto CERES, AINIA ha desarrollado uno de los primeros dispositivos que permite el diagnóstico de los cultivos en tiempo real. Esta

tecnología permite, en tiempo real, detectar, evaluar y diagnosticar enfermedades, plagas y daños en los árboles, para una mejor gestión de los cultivos. Esto permitirá una reducción en la necesidad de pesticidas, que dañan tanto la salud de las personas como la del planeta.

El novedoso dispositivo, diseñado y desarrollado por el centro tecnológico, está compuesto por tecnologías fotónicas e inteligencia artificial que permiten la caracterización de los cultivos mediante la combinación de robótica móvil (drones y AGV), fotónica (cámaras hiperespectrales,

termografía y LIDAR) y software de análisis basado en Inteligencia Artificial. “Las tecnologías hiperespectrales captan información química de los cultivos que nos permiten hacer diagnósticos sobre la salud de las plantas y sus necesidades de nutrientes o la detección de plagas y enfermedades; y con la tecnología LIDAR (tecnología láser) obtenemos imágenes 3D para segmentar los árboles y calcular su distribución volumétrica para, por ejemplo, la correcta aplicación de fitosanitarios. La información obtenida se procesa a través de algoritmos de inteligencia artificial para extraer conclusiones que nos ayudan a tomar las decisiones más acertadas para la gestión de los cultivos”, señala el Edgar Llop, técnico del departamento de Tecnologías de automatización de procesos y sensores Espectrales de Ainia.

El uso de este dispositivo permite adaptar los tratamientos fitosanitarios, según la morfología de cada uno de los árboles, lo que puede suponer un ahorro de entre un 10 y un 60% fitosanitarios, muchas menos horas de trabajo por parte del agricultor, así como una reducción del combustible para máquinas agrícolas por cada hectárea de cultivo.

## Las luces nocturnas, cada vez más blancas, podrían afectar a la salud y los ecosistemas

Investigadores de la Universidad Complutense de Madrid y la Universidad de Exeter han utilizado las imágenes obtenidas con cámaras digitales por los astronautas de la Estación Espacial Internacional y el satélite estadounidense Suomi NPP para medir crecimiento de la contaminación lumínica en Europa. Su trabajo ha permitido, por primera vez, dar una información realista del crecimiento de la contaminación lumínica en un gran territorio. Hasta ahora, el uso de las imágenes de la Estación Espacial se limitaba a pequeñas áreas, como ciudades.

De este modo, han podido cartografiar la variación de la composición espectral de la iluminación en toda Europa para 2012-2013 y 2014-2020. Estas imágenes muestran un cambio espectral generalizado a nivel regional, desde el asociado principalmente a la iluminación de sodio de alta presión hasta el asociado a los diodos emisores de luz (LED) blanca amplia y con mayores emisiones azules, tendencia que aumenta ampliamente el riesgo de efectos nocivos para los ecosistemas. Por ello, el estudio remarca la importancia de evaluar el impacto de la exposición a luz artificial durante la noche, especialmente en el espectro azul, informa la Universidad Complutense en un comunicado.

“Estamos asistiendo al reemplazo del alumbrado de nuestras ciudades y carreteras desde unas lámparas de luz de sodio de alta presión (HPS, de sus siglas en inglés) a las luminarias con LEDs. Mientras las primeras son de color naranja, las nuevas son, en su mayor parte, blancas por su componente azul en el espectro. Los cambios a LEDs son motivados por su ahorro energético y son una oportunidad de reducción de la contaminación lumínica si las nuevas luminarias están diseñadas para iluminar con más eficacia y se usan LEDs de bajo contenido azul”, aclara Jaime Zamorano, catedrático del departamento de Física de la Tierra y Astrofísica de la Complutense y director de la tesis de Alejandro Sánchez de Miguel, primer firmante del nuevo estudio, que ha sido publicado en la prestigiosa revista Science Advances.

“Como ya se esperaba, hay un cambio medible a luminarias más azules. La transformación de estas imágenes en color a mapas de impacto ambiental indica que se está incrementando el riesgo de efectos nocivos a los ecosistemas”, completa Zamorano, en declaraciones recogidas por, en declaraciones recogidas por Science Media Center (SMC).

“El reloj circadiano regula el correcto funcionamiento de múltiples sistemas en el cuerpo humano. El principal factor sincronizador de este sistema es la luz que entra a través de la retina en nuestros ojos. La luz azul, aquella con un espectro de 380 a 450 nm, es la más efectiva a la hora de sincronizar (o alterar) este sistema”, comenta Anna Palomar, investigadora predoctoral en el Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal), cuya tesis trata sobre la disrupción circadiana en parte, como resultado de la exposición a luz artificial durante la noche y sus efectos en la salud humana, y que no ha participado en el estudio.

“El cambio sistémico hacia un alumbrado público compuesto principalmente por LEDs ha sido impulsado en muchas ciudades europeas para reducir el impacto medioambiental. Sin embargo, poco se sabe sobre el cambio del color de la luz de este nuevo alumbrado público y su impacto en la salud humana y planetaria”, continúa Palomar. Además, destacan el impacto que este aumento de luz puede tener también para otras muchas especies.

El artículo demuestra este aumento progresivo en los niveles de luz azul en las ciudades europeas, aunque se necesitan más estudios que evalúen sus efectos sobre la salud humana y que propongan medidas preventivas.



## La contaminación atmosférica amplifica el cambio climático

Los impactos de la contaminación atmosférica en la salud humana, la economía y la agricultura difieren drásticamente según el lugar del planeta donde se emitan los contaminantes, según un nuevo estudio que podría incentivar a ciertos países a reducir las emisiones que alteran el clima.

Dirigido por la Universidad de Texas en Austin y la Universidad de California en San Diego (Estados Unidos), el estudio, publicado en la revista 'Science Advances', es el primero que simula cómo la contaminación por aerosoles afecta tanto al clima como a la calidad del aire en lugares de todo el mundo.

Los aerosoles son diminutas partículas sólidas y gotas líquidas que contribuyen a la niebla tóxica y son emitidas por fábricas industriales, centrales eléctricas y tubos de escape de vehículos. Afectan a la salud humana y a la productividad agrícola y económica con patrones globales únicos si se comparan con las emisiones de dióxido de carbono (CO2), en las que se centran los esfuerzos para mitigar el cambio climático.

Aunque el CO2 y los aerosoles suelen emitirse al mismo tiempo durante la combustión de carburantes, ambas sustancias se comportan de forma diferente en la atmósfera terrestre, explica la coautora Geeta Persad, profesora adjunta de la Facultad de Geociencias Jackson de la Universidad de Austin.

“El dióxido de carbono tiene el mismo impacto en el clima independientemente de quién lo emita --añade Persad--. Pero estos contaminantes en forma de aerosol tienden a concentrarse cerca del lugar donde se emiten, por lo que el efecto que tienen en el sistema climático es muy desigual y depende mucho de su procedencia”. Los investigadores descubrieron que, dependiendo de dónde se emitan, los aerosoles pueden

empeorar los costes sociales del carbono -una estimación de los costes económicos que tienen los gases de efecto invernadero en la sociedad- hasta en un 66%. Los científicos analizaron ocho regiones clave: Brasil, China, África Oriental, Europa Occidental, India, Indonesia, Estados Unidos y Sudáfrica.

Esta investigación pone de manifiesto que los efectos nocivos de nuestras emisiones suelen subestimarse --afirma Jennifer Burney, coautora del estudio y titular de la Cátedra Marshall Saunders de Política e Investigación Climática Global de la Escuela de Política y Estrategia Global de la Universidad de California en San Diego--. El CO2 está haciendo que el planeta se caliente, pero también se emite con un montón de otros compuestos que tienen un impacto directo sobre las personas y las plantas y causan cambios climáticos por sí mismos”.

Los aerosoles pueden afectar directamente a la salud humana y al clima independientemente del CO2. Se asocian con impactos negativos para la salud cuando se inhalan, y pueden afectar al clima al influir en la temperatura, los patrones de precipitación y la cantidad de luz solar que llega a la superficie de la Tierra.

El resultado dibuja un panorama variado y complicado. Las emisiones de algunas regiones producen efectos climáticos y de calidad del aire que van de dos a más de 10 veces más fuertes que otras, y costes sociales que a veces afectan más a las regiones vecinas que a la región que produjo las emisiones de aerosoles. Por ejemplo, en Europa las emisiones locales provocan cuatro veces más muertes infantiles fuera de Europa que dentro. Pero los investigadores señalan que las emisiones de aerosoles siempre son malas tanto para el emisor como para el planeta en general.





# CONSTRUYE TU FUTURO

Aplica la  
— ECO —  
**LÓGICA**

NO SOLO ES LÓGICO,  
ES ECOLÓGICO



Genera y consume  
tu propia energía



Muévete de  
forma eficiente



Mejora la eficiencia  
energética de tu hogar