

SALUD AMBIENTAL

CONTAMINACIÓN Y SALUD PÚBLICA

LAS CIUDADES MÁS POBLADAS, como Barcelona, registran unos índices de contaminación que a menudo superan los límites máximos establecidos en las leyes y recomendados por las autoridades sanitarias.

ATMOSFÉRICA

Los efectos de la polución en la salud suelen ser difíciles de observar a nivel individual. ¿Cómo puede mejorarse ese conocimiento y aumentar la concienciación de la población ante el problema?

Mark J. Nieuwenhuijsen



Mark J. Nieuwenhuijsen es profesor de investigación en ISGlobal, en Barcelona, donde dirige la Iniciativa de Planificación, Medio Ambiente y Salud. También es presidente de la Sociedad Internacional de Epidemiología Ambiental. Su último libro se titula *Integrating human health into urban and transport planning* (Springer, 2018).



LA MAYORÍA DE NOSOTROS NOS ACECHA UNA DE LAS MAYORES AMENAZAS, UN mal que no suele detectarse a simple vista pero que descarga su golpe mortal en numerosas zonas del planeta. Se trata de la contaminación atmosférica. El 90 por ciento de la población mundial vive en áreas donde los niveles de contaminantes atmosféricos se sitúan por encima de los valores recomendados por las directrices sanitarias.

Según diferentes estudios, las sustancias tóxicas y las partículas sólidas del aire derivadas de diversas actividades humanas terminan con la vida de 7 millones de personas cada año; más de la mitad (4,2 millones) mueren como consecuencia de los contaminantes presentes en espacios abiertos (el resto fallece a causa de los que se generan en espacios cerrados, como en los hogares donde se quema leña). Los índices de contaminación atmosférica varían mucho de una región a otra del planeta, siendo elevados en lugares como China e India y menores en América del Norte y Europa. Aun así, cerca de 400.000 europeos mueren cada año a causa de ella.

La polución del aire repercute, además, en los sistemas sanitarios y la economía de las naciones: en 2016, el coste asociado a la carga de enfermedad provocada por las partículas sólidas de tamaño inferior a 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$) en todo el mundo fue de 5,7 billones (10^{12}) de dólares estadounidenses, lo que representa un 4,4 por ciento del producto interior bruto global.

Muchos de los contaminantes están regulados y existen directrices que definen sus niveles máximos. Las $PM_{2,5}$ y el dióxido de nitrógeno (NO_2) han recibido gran parte de la atención por su mayor impacto sobre la salud. A pesar de ello, en numerosas ciudades europeas, entre ellas Barcelona y Madrid, se superan esos límites. A menudo, reducirlos supone una dura batalla para las administraciones, dada la elevada densidad de coches en las ciudades y la escasa predisposición a restringir su uso.

La concienciación de la población sobre el problema de la contaminación, aunque cada vez mayor, resulta irregular. El caso *dieselgate*, en el que los fabricantes de coches manipularon las emisiones de los óxidos de nitrógeno de los motores diésel para que disminuyeran durante las pruebas de homologación, fue am-

pliamente cubierto por los medios de comunicación y aumentó la atención y la necesidad de actuar sobre dichos contaminantes.

No obstante, cada cierto tiempo aparecen personas que cuestionan los efectos de la contaminación en la salud, como Dieter Köhler, antiguo director de la Sociedad Respiratoria Alemana, que hace poco puso en entredicho las pruebas sobre el impacto del NO_2 . Argumentaba que la mayoría de ellas se basaban en asociaciones estadísticas y que él nunca había visto a nadie en su consulta que sufriera daños provocados por la contaminación atmosférica, como sí había visto las consecuencias del tabaquismo.

Es verdad que muchos de los efectos descritos proceden de estudios epidemiológicos (basados en poblaciones grandes) y son difíciles de detectar a escala individual. Pero también existen numerosas pruebas toxicológicas, realizadas en condiciones experimentales en animales y en humanos, que respaldan los hallazgos epidemiológicos.

Aun así, todavía existen lagunas de conocimiento y persisten dudas en la población sobre el problema de la polución. ¿Cuándo tienen los contaminantes un efecto perjudicial notable en la salud individual? ¿Qué estrategias pueden mejorar dicho conocimiento y aumentar la concienciación de los ciudadanos?

UN PROBLEMA HISTÓRICO

Aunque los posibles efectos de la contaminación atmosférica se han descrito durante cientos de años, no fue hasta principios de la década de 1950 cuando pasaron a un primer plano e indujeron cambios en la legislación.

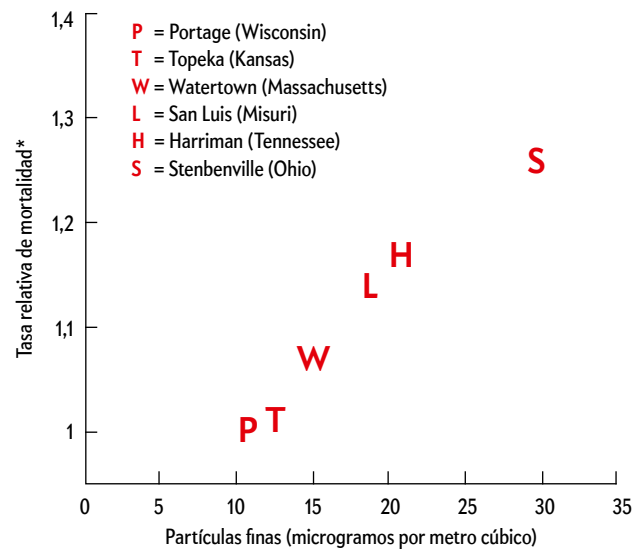
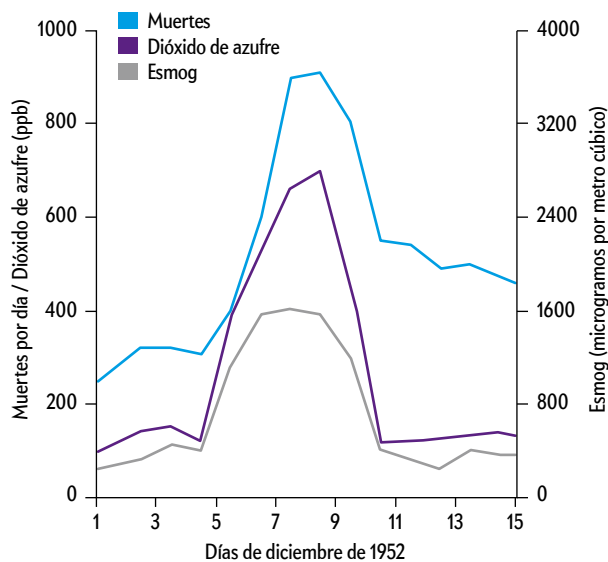
Uno de los acontecimientos clave tuvo lugar en diciembre de 1952 en Londres. A causa de la combustión intensiva de carbón para la calefacción doméstica y del estancamiento de

EN SÍNTESIS

Se sabe que la contaminación atmosférica causa enfermedades y aumenta la mortalidad, por lo que numerosos países han desarrollado legislaciones para reducirla.

Sin embargo, todavía existen lagunas en el conocimiento de los efectos en la salud, sobre todo los de niveles muy bajos de contaminantes a largo plazo. Asimismo, la percepción de la población acerca de las repercusiones en la salud individual es pobre.

Diferentes estrategias pueden mejorar ese conocimiento y aumentar la concienciación de la sociedad, como el estudio del exposoma, los proyectos de ciencia ciudadana para medir la contaminación local o las iniciativas de reducción del tráfico motorizado en las urbes.



CONTAMINACIÓN Y MORTALIDAD: El episodio de niebla tóxica de Londres en 1952, en el que se vio un pico de fallecimientos relacionado con los niveles de contaminantes, como dióxido de azufre y esmog (izquierda), dio pie a la introducción de leyes para reducir la contaminación. Más tarde, en los años noventa, el Estudio de las Seis Ciudades de EE.UU. demostró que, incluso para valores inferiores de contaminantes, como las partículas finas, se daba una relación lineal entre estos y la tasa relativa de mortalidad en las diferentes urbes. (*Cociente ajustado de la tasa de mortalidad con respecto a la de la ciudad más saludable.)

las condiciones meteorológicas, se alcanzaron valores máximos de contaminación atmosférica. Se dio uno de los episodios de niebla tóxica que daban fama a la ciudad, al que siguió, al cabo de pocos días, un pico en el número de fallecimientos, 4000 en total. Tras ese episodio, se introdujo en el país la Ley de Aire Limpio, que supuso la prohibición del carbón y redujo en gran medida la contaminación en Londres y el resto del Reino Unido. La niebla tóxica no volvió a verse en la ciudad, pero, por desgracia, en algunos lugares del mundo, como China, siguen produciéndose ese tipo de episodios.

Desde los años cincuenta, a raíz de las nuevas legislaciones y la intensificación del control sobre las emisiones industriales, la combustión de carbón se redujo o se eliminó por completo en América del Norte y Europa. Durante tiempo se consideró que la contaminación en esas regiones se había reducido tanto que no existía riesgo alguno para la salud. Sin embargo, un estudio de 1993 de Douglas W. Dockery, de la Universidad Harvard, y sus colaboradores, cambió esa forma de pensar. Conocido como el Estudio de las Seis Ciudades (Six-Cities Study), consistió en colocar monitores de aire en seis urbes estadounidenses con distintos índices de contaminación; en cada una de ellas, se hizo un seguimiento del estado de salud y la mortalidad de varios miles de personas. Los resultados, que abarcaron un período de entre 14 y 16 años, demostraron que las personas de las poblaciones más contaminadas presentaban un 30 por ciento más de posibilidades de fallecer que las de las ciudades menos contaminadas. Se observó que la mortalidad guardaba una relación especialmente estrecha con los niveles de partículas sólidas finas. Como consecuencia de ese estudio, en los Estados Unidos se desarrolló una legislación más estricta, y en todo el mundo, en especial en América del Norte y Europa, se intensificaron las investigaciones sobre los efectos de la contaminación en la salud.

Muchos de esos trabajos correspondían a lo que se conoce como estudios de series de tiempo (en los que se miden las variables de interés a intervalos de tiempo regulares). Varios de ellos examinaron la relación entre los valores diarios de

contaminantes y el número de personas fallecidas o enfermas en un determinado día y ciudad. Mediante complejas técnicas estadísticas, se detectaron tendencias pequeñas. Se descubrió así que, en términos generales, cuando aumentaban los valores de contaminantes, también lo hacía el número de personas que fallecían o enfermaban. Se observó un resultado parecido al del episodio de niebla tóxica de Londres, pero con valores más bajos de contaminantes y también un número muy inferior de fallecimientos.

Por lo que respecta a las enfermedades, los primeros estudios se centraron en los efectos de la contaminación sobre el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y la función pulmonar. Les siguieron estudios sobre enfermedades cardiovasculares. Y más tarde se exploraron las alteraciones en el feto y el cerebro. Tal evolución resulta lógica: los pulmones constituyen el primer órgano donde va a parar el aire contaminado que inhalamos; pero después se demostró que otros órganos sufrían también daños porque a partir de los pulmones los contaminantes se incorporan al torrente sanguíneo, desde donde son distribuidos por todo el cuerpo, atravesando incluso la placenta y la barrera hematoencefálica.

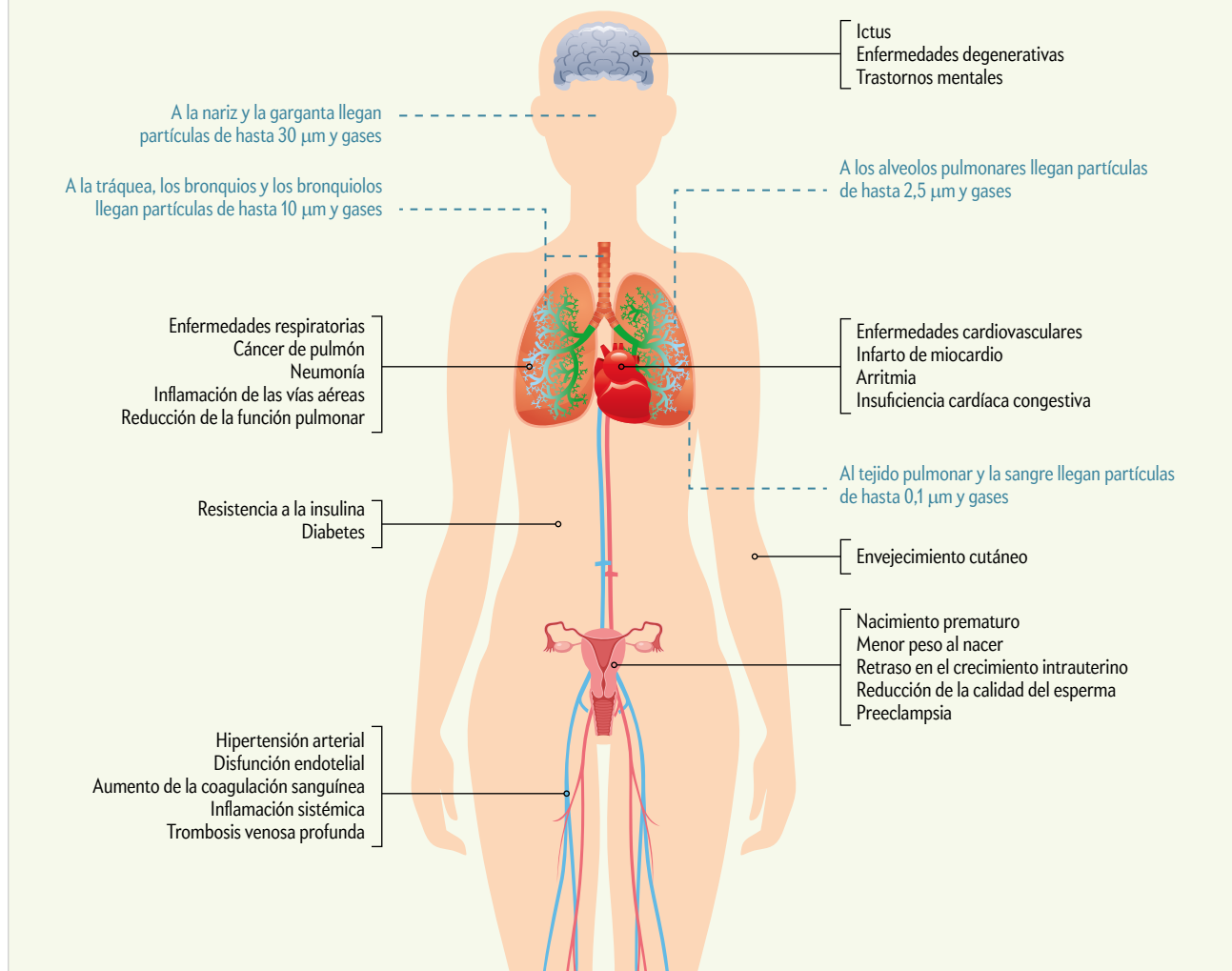
UNA MEZCLA COMPLEJA

Pero ¿qué se entiende por contaminación atmosférica? Se trata de una mezcla compleja de componentes sólidos (partículas) y gaseosos. En Europa, la originan sobre todo el tráfico motorizado, la industria y las calefacciones domésticas; y, en menor medida, el transporte de envíos, la agricultura y algunos factores naturales, como el polvo procedente del Sáhara y los volcanes.

La combustión es la principal reacción implicada en las actividades humanas que causan contaminación atmosférica. En ella se producen partículas sólidas, óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono, monóxido de carbono (CO), hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos volátiles. Tales partículas y moléculas pueden ser emitidas mayoritariamente desde su fuente, como el hollín y el NO₂ de los motores de combustión

¿Cómo nos afectan los contaminantes?

El aire de las ciudades contiene una mezcla compleja de sustancias y partículas sólidas de diferente tamaño procedentes sobre todo de las emisiones de los automóviles y las calefacciones domésticas. Los pulmones constituyen el principal órgano de destino de todos los contaminantes (las partículas de hasta 10 micrómetros y los gases), pero los de menor tamaño (las partículas de hasta 100 nanómetros y los gases) se incorporan desde ellos a la sangre y se distribuyen por todo el organismo (azul). Abajo se detallan los procesos que desencadenan y las enfermedades que provocan en diferentes partes del cuerpo.



diésel, y reciben el nombre de contaminantes primarios; o pueden formarse en la atmósfera a partir de sustancias precursoras, y se denominan contaminantes secundarios. Un ejemplo de contaminante secundario gaseoso es el ozono, que se forma a través de complejas reacciones fotoquímicas de los óxidos de nitrógeno y de compuestos orgánicos volátiles. Un contaminante secundario sólido es el sulfato de amonio, que se forma a partir del gas amoníaco, emitido por abonos agrícolas, y el dióxido de azufre (SO_2), liberado durante la combustión del carbón.

Las partículas sólidas son una mezcla compleja. En función de sus efectos sobre la salud se dividen en partículas inferiores a 10 micrómetros (PM_{10}), inferiores a 2,5 micrómetros ($\text{PM}_{2,5}$) e inferiores a 100 nanómetros, denominadas partículas ultrafinas. Cuanto más pequeño es su tamaño, mayor es la

profundidad a la que se depositan en los pulmones y en el torrente sanguíneo.

Desgraciadamente, en contraste con otras enfermedades, como las infecciosas, en las que pueden detectarse virus o bacterias en el cuerpo, no existen marcadores específicos que puedan medirse con facilidad en el organismo humano para determinar si una dolencia concreta es consecuencia de la contaminación atmosférica. Por este motivo, las pruebas actuales proceden de estudios en los que se comparan los índices de enfermedad entre grupos de personas expuestas a distintos niveles de contaminantes. Se trata de un enfoque estadístico en el que también se tienen en cuenta otros factores, como la edad, el sexo, el hábito tabáquico y el estatus socioeconómico. Ya se han llevado a cabo miles de tales estudios en todo el mundo, lo que está propor-

cionando una sólida base de datos acerca de los efectos de la polución del aire en la salud.

Los principales procesos que producen los contaminantes son la inflamación sistémica y el estrés oxidativo, los cuales dan lugar a una amplia gama de efectos corporales, como la coagulación de la sangre. Estos conllevan una gran cantidad de enfermedades y, en última instancia, pueden desembocar en la muerte. Además, pueden alterar el funcionamiento del sistema nervioso autónomo (el responsable de las funciones involuntarias de los órganos internos) o provocar daños por intrusión directa de las partículas en el torrente sanguíneo e incluso en el interior de órganos específicos.

Entre los principales trastornos que provoca o favorece la contaminación cabe mencionar las enfermedades respiratorias, el cáncer de pulmón, la neumonía, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, el infarto de miocardio, la arritmia, el ictus, las enfermedades neurodegenerativas, el parto prematuro y el retraso en el desarrollo fetal.

Asimismo, nuestro grupo ha comprobado el modo en que afecta a la salud mental. En un estudio llevado a cabo en Barcelona en 2015 demostramos que provocaba retrasos en el desarrollo cognitivo de los escolares; los niños de las escuelas donde había unos niveles más altos de contaminantes tuvieron un rendimiento entre el 5 y el 6 por ciento inferior al de los niños en escuelas con menor contaminación. De hecho, un estudio de China halló que el efecto de esta equivalía a perder dos años de escolaridad. Otras investigaciones han indicado que la polución puede acelerar el deterioro cognitivo en los ancianos, o incluso contribuir a la epidemia de obesidad.

MÍNIMOS Y MÁXIMOS PERJUDICIALES

La mayoría de los estudios que analizan los efectos en la salud se han llevado a cabo en Europa y en América del Norte, donde los niveles de contaminantes son entre bajos y medios. La existencia desde hace años de legislación al respecto ha conseguido mantenerlos a raya en dichas zonas. Pero una pregunta que sigue sin respuesta es si los contaminantes provocan también efectos adversos a concentraciones muy bajas. Para las $PM_{2.5}$, las directrices de la Unión Europea establecen un valor medio anual máximo de 25 microgramos por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estas normas tienen en cuenta una gran variedad de factores, entre los que se incluyen los intereses económicos. En cambio, las directrices de la Organización Mundial de la Salud, que se basan puramente en las pruebas existentes acerca de la toxicidad de los contaminantes, fijan ese valor en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, una cifra que suele ser superada en la mayoría de las ciudades europeas, con valores medios de entre 10 y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En Barcelona, por ejemplo, se alcanza un valor medio anual de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Estudiar los efectos de las concentraciones bajas de contaminantes reviste una enorme dificultad: se necesita una gran cantidad de participantes en los estudios, una evaluación cuidadosa de los niveles de contaminación atmosférica y una valoración minuciosa de otros factores, los denominados factores de confusión, que pueden influir también en los efectos que se desean evaluar, como la edad, el hábito tabáquico y el estatus socioeconómico de los participantes.

Algunos estudios han demostrado efectos perjudiciales de niveles muy reducidos de contaminantes, inferiores a los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$. En la actualidad, se están llevando a cabo amplios ensayos en Europa, como el proyecto ELAPSE, para evaluar la toxicidad de contaminantes en cantidad muy reducida. Los resultados no estarán disponibles hasta finales de este año o hasta

2020, pero podrían influir enormemente en la futura legislación y en la aplicación de medidas inmediatas y drásticas.

En el extremo opuesto se halla la situación en la que la contaminación supera con creces el máximo permitido en las legislaciones vigentes. Durante largo tiempo, los estudios en países con niveles de contaminantes muy altos, como India y China, donde las $PM_{2.5}$ pueden superar el centenar de microgramos por metro cúbico de aire, han resultado escasos.

Esa falta de datos representaba una laguna importante en el conocimiento. Se suponía que las relaciones entre la contaminación atmosférica y los efectos sobre la salud se estabilizaban en el extremo superior de la escala de contaminación. Dicho de otro modo, que, a partir de cierto valor, las repercusiones para la salud serían más o menos las mismas. Sin embargo, estudios epidemiológicos recientes, como el publicado por Aaron J. Cohen, del Instituto de Efectos en la Salud, en Boston, y sus colaboradores, han demostrado lo contrario: los efectos en el extremo superior siguen creciendo, lo que significa que el impacto real sobre la salud en los países incumbidos podría ser mucho más grave de lo que se había estimado. Por suerte, en los últimos años la contaminación atmosférica ha atraído mucha atención en China, sobre todo debido a la frecuencia de los episodios graves, por lo que existen ahora más fondos disponibles para estudiar esas cuestiones y para introducir intervenciones que reduzcan los contaminantes.

EL EXPOSOMA

Una de las últimas tendencias en la investigación sobre los efectos de la polución en la salud es la investigación del exposoma. Este se define como la totalidad de las exposiciones ambientales, incluida la contaminación atmosférica, a las que están sometidas las personas a lo largo de su vida. Se trata de un nuevo paradigma que contempla el empleo de las nuevas técnicas *ómicas*: la transcriptómica, que mide el conjunto de moléculas de ARN transcritas presentes en un tejido u órgano; la proteómica, que hace lo propio con el conjunto de proteínas; la metabolómica, que examina el conjunto de metabolitos; y el análisis de la metilación del ADN, el conjunto de grupos metilo unidos a la molécula de ADN y que forman parte de lo que se conoce como epigenoma.

Todas esas técnicas permiten identificar marcadores moleculares que pueden relacionarse con alteraciones asociadas a la contaminación, como la activación de ciertas vías biológicas (entre ellas, la inflamación) o la presencia de marcadores precoces de enfermedad. Tal información puede extraerse gracias a que dichas técnicas generan un número ingente de datos. La transcriptómica permite detectar la expresión de más de 35.000 genes (o transcritos de ARN), mientras que, mediante el empleo de un panel de metilación de referencia, pueden analizarse cerca de 400.000 cambios en el epigenoma.

Varios proyectos europeos en los que participa nuestro equipo de ISGlobal, como Helix y EXPOSOMICS, han empezado a explorar el efecto de la contaminación atmosférica en los marcadores ómicos. El éxito es desigual, sobre todo porque a menudo los resultados obtenidos en un estudio no han concordado con los alcanzados en otro. A ello ha contribuido la dificultad de estudiar poblaciones extensas. Los efectos esperados en los marcadores ómicos son relativamente pequeños, y para detectar cualquier alteración en ellos se necesita un tamaño de población grande, porque los análisis estadísticos conllevan múltiples cálculos de una gran cantidad de datos. Pero la aplicación de las técnicas ómicas sigue resultando cara, por lo que todavía



LOS TUBOS DE DIFUSIÓN son dispositivos sencillos y de bajo coste que sirven para medir algunos gases, como el dióxido de nitrógeno. Con la colaboración de los ciudadanos, que se ocupan de instalarlos, permiten conocer cómo varía la contaminación en diferentes barrios y zonas.

no es factible utilizarla en centenares de miles de personas. Sin embargo, los precios están bajando con rapidez y, además, es posible que dichas técnicas se introduzcan pronto en las pruebas de salud rutinarias. Ambos avances ofrecerán sin duda la oportunidad de llevar a cabo estudios a gran escala y prevenir la enfermedad en estadios precoces.

¿ES RECOMENDABLE EL EJERCICIO EN LAS CIUDADES?

El interés por desplazarse en bicicleta ha crecido en numerosas urbes europeas, en muchas de las cuales ha aumentado el uso de este vehículo. Es un dato positivo, puesto que la actividad física resulta muy importante para la salud y el bienestar de las personas.

De hecho, la falta de actividad provoca varias enfermedades, entre ellas el cáncer, y un aumento de la mortalidad prematura. En todo el mundo, más de 3 millones de personas fallecen de forma prematura como consecuencia de llevar una vida extraordinariamente sedentaria. Ir en bicicleta al trabajo o a la escuela, como parte de la rutina cotidiana, es una buena forma de introducir la práctica regular de ejercicio. No obstante, el esfuerzo que ello conlleva hace duplicar o triplicar el ritmo de la respiración, por lo que a muchos ciclistas les preocupa que inhalar una mayor cantidad de aire contaminado perjudique su salud; más si se tiene en cuenta que en las calles con mucho tráfico motorizado los niveles de contaminantes pueden ser dos o tres veces superiores a los de calles situadas solo a unos 50 o 100 metros de distancia.

Por fortuna, un gran número de estudios de modelización han demostrado que los beneficios para la salud derivados de ir en bicicleta superan ampliamente los riesgos asociados a la mayor inhalación de contaminantes (y, de hecho, también a los accidentes). Los ciclistas quizás inhalen cerca de un 10 por ciento más contaminantes que los peatones, pero el riesgo extra sobre la salud provocado por esta circunstancia es bastante pequeño, en comparación con los beneficios que proporciona la actividad física adicional.

Sin embargo, varios estudios recientes indican que en áreas muy contaminadas los ciudadanos tal vez no alcancen esos beneficios, especialmente los más vulnerables. Así, un estudio de 2018 liderado por Rudy Sinharay, del Colegio Imperial de Londres, comparó diversos efectos sobre la salud en dos grupos de

personas que padecían alguna enfermedad pulmonar o cardíaca crónica. Ambos grupos caminaron durante dos horas por Londres, uno en Hyde Park, donde los valores de contaminantes son relativamente bajos, y otro en Oxford Street, donde son elevados a causa del intenso tráfico de autobuses y taxis con motor diésel. Mientras que el grupo de Hyde Park experimentó una mejora en la elasticidad de las arterias, el de Oxford Street no mostró ninguna ventaja. Otro estudio realizado en tres ciudades europeas (Barcelona, Londres y Amberes) observó que la actividad física mejoraba la función pulmonar en áreas con baja contaminación, pero no en aquellas donde era elevada.

Sin duda, estos datos suscitan cierta preocupación entre los atletas de alto rendimiento. Durante la celebración de las Olimpiadas de Pekín se cerraron muchas fábricas para reducir la contaminación en la ciudad. Es difícil saber si ello tuvo algún efecto sobre los atletas, pero sí se detectaron beneficios sobre la salud en la población Pekinesa tales como una reducción de la inflamación sistémica, del estrés oxidativo y de la mortalidad cardiovascular, así como una mejora de la función pulmonar. Como precaución, es recomendable hacer ejercicio lejos de calles muy transitadas y de otras fuentes de contaminación atmosférica, a fin de evitar una exposición excesiva a las sustancias tóxicas y obtener los máximos beneficios de la actividad física.

CIENCIA CIUDADANA CONTRA LA CONTAMINACIÓN

Numerosas ciudades de todo el mundo (a excepción del continente africano) poseen estaciones de medición de la contaminación atmosférica, que, de forma regular (normalmente cada hora), miden varios de los contaminantes denominados «criterio», como PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 y CO . Los datos se recopilan con fines regulatorios. Estas estaciones entrañan un elevado coste (entre 100.000 y 150.000 euros al año), y el número de las que se colocan en una ciudad depende del tamaño de esta y de su presupuesto: desde una o dos hasta decenas de ellas. Sin embargo, los niveles de contaminación varían mucho en una ciudad, tanto en el tiempo como en el espacio. Además, las estaciones tienden a estar situadas en ubicaciones de fondo (lejos de las calles), por lo que no capturan la variación completa de los niveles de contaminantes. La participación de los ciudadanos puede ofrecer ayuda en este sentido, por la posibilidad de recopilar un gran número de datos en diferentes barrios y zonas.

Los habitantes de las urbes se han ido preocupando cada vez más por los niveles de contaminantes cerca de su hogar o en su trayecto al trabajo. Esto ha dado lugar a distintos proyectos de ciencia ciudadana, como hackAIR, CITI-SENSE y Cities-Health (los dos últimos coordinados en España por nuestro equipo de ISGlobal), en los que se han intentado fabricar o implementar sensores de partículas sólidas y gases. Además, varios fabricantes han diseñado sensores de bajo coste (de unos centenares de euros) que pueden comprarse fácilmente (Pumple air, Plantower,

Bettair). Ha habido ciertas dudas acerca de la precisión y la fiabilidad de dichos sensores, pero están mejorando con rapidez.

Unos de los sensores más sencillos y fiables son los tubos de difusión pasiva, o tubos de Palmes. Se utilizan para medir la concentración de gases como el NO₂. Cuestan entre 5 y 10 euros, y pueden utilizarse durante un período de tiempo corto (entre una y dos semanas), si bien son de un solo uso.

La disponibilidad y la implementación de estos sensores han mejorado en gran medida el conocimiento y la concienciación sobre la contaminación atmosférica, y han hecho que esta gane importancia en la agenda política. Un ejemplo lo ofrece el proyecto reciente de ciencia ciudadana xAIRE, coordinado por Josep Perelló, de la Universidad de Barcelona. En él participaron 20 escuelas de Barcelona, a cada una de las cuales se entregó 40 tubos de difusión de NO₂ que los alumnos debían colocar por todo el centro para medir el contaminante a lo largo de una semana.

Una iniciativa ciudadana en Bélgica denominada Curieuze Neuzen («Narices curiosas»), que se puso en marcha primero en Amberes y después en toda Flandes, trabajó con un periódico nacional para aumentar la concienciación sobre la contaminación. En Amberes, una autopista muy concurrida divide la ciudad en dos, y sus habitantes han llevado a cabo una intensa campaña para que se sotierre la vía y se construya un parque encima. Los participantes colocaron 2000 tubos de difusión de NO₂ por toda la ciudad para demostrar el impacto de la carretera. En el conjunto de Flandes, se distribuyeron un total de 20.000, y se consiguió aumentar la concienciación de la población y cambiar la agenda política. La iniciativa ha sido recogida por la Agencia Europea de Medio Ambiente, la cual está trabajando ahora con muchos países europeos, incluida España, para poner en marcha proyectos similares.

CÓMO REDUCIR LA CONTAMINACIÓN

Dados los efectos de la polución sobre la salud y la elevada carga que acarrea en los sistemas sanitarios, es importante reducir sus valores actuales. Una de las formas más eficaces de hacerlo consiste en eliminar o reducir la emisión de contaminantes desde su origen, principalmente los generados por el tráfico motorizado, la calefacción de los hogares o la industria.

Me centraré aquí en el tráfico motorizado. En Europa, la regulación de las emisiones de los vehículos, que se puso en marcha en 1992 con las Normas Euro, ha dado lugar a una disminución de los índices de contaminación. Desgraciadamente, las normas se basaron en las emisiones de los vehículos medidas en el laboratorio y no tuvieron suficientemente en cuenta las condiciones reales de conducción y mantenimiento del automóvil. Como consecuencia, durante la conducción normal se producen más contaminantes de los que los fabricantes suelen especificar para sus vehículos. Además, el control de las emisiones de los tubos de escape, si bien resulta positivo para mantener a raya los óxidos de nitrógeno, solo recoge la mitad de todas las partículas sólidas que contaminan el aire; el resto procede del desgaste de los frenos y las ruedas. Los nuevos protocolos de análisis de las emisiones que se vayan introduciendo a lo largo de los próximos años deberían abordar estos problemas.

Varias ciudades han introducido zonas de baja emisión, en las que solo se permite la entrada a los vehículos con determinadas especificaciones. Pero esa estrategia ha tenido un éxito desigual, y en general no se ha observado una disminución importante en los niveles de contaminantes. En algunas urbes también se han fijado impuestos de congestión y los conductores deben pagar

para acceder a una parte de la ciudad. Si bien este sistema ha servido para llenar algo las arcas del ayuntamiento, ha resultado mucho menos eficaz a la hora de reducir la contaminación. Otras ciudades han ido un paso más allá y han establecido barrios sin coches, como el área Vauban de Friburgo, en Alemania. Y otras se han comprometido a prohibir su circulación en toda la ciudad, como es el caso de Hamburgo, que se ha fijado dicha meta para el 2034. Tal medida puede antojarse algo drástica, pero podría aplicarse en el futuro en barrios de numerosas ciudades, dado que muchas de ellas no solo quieren solucionar sus problemas de contaminación, sino también abordar otros aspectos, como la habitabilidad, la salud y el cambio climático.

La transición energética de los combustibles fósiles a las energías renovables (como la solar, la hidráulica y la eólica) no solo hace frente a los problemas relacionados con el cambio climático, sino también a los de contaminación atmosférica, y podría aportar grandes beneficios para la salud. La reducción o la eliminación en la vida cotidiana del uso del carbón, la madera, el petróleo y el gas asociado al transporte, las calefacciones domésticas y la industria exigirá grandes compromisos e inversiones, pero abre muchas oportunidades para un futuro mejor, más sostenible y saludable. Los intereses creados, como los de los fabricantes de automóviles, pueden dificultar dicha transición, pero es necesario enfrentarse a los efectos actuales del cambio climático, que pueden conllevar un coste mucho más alto si no se abordan ahora.

Y una última reflexión. La mayoría de la población europea vive hoy en ciudades, y es necesario analizar cómo las diseñamos o las rediseñamos para reducir la actual dependencia del coche. La expansión urbana y las deficiencias en el transporte público y los carriles bici han dado lugar, en numerosas urbes, a una gran dependencia del coche y a la congestión. Se necesitan mayores inversiones en infraestructuras de transporte público para reducir el uso de coches y motos y proporcionar a los ciudadanos un entorno más habitable y saludable. ■

PARA SABER MÁS

Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: A prospective cohort study.

Jordi Sunyer et al. en *PLoS Medicine*, vol. 12 n.º 3, e1001792, marzo de 2015.

Urban and transport planning, environmental exposures and health-new concepts, methods and tools to improve health in cities. Mark J.

Nieuwenhuijsen en *Environmental Health*, vol. 15, n.º 1, pág. 38, marzo de 2016.

Car free cities: Pathway to healthy urban living. Mark J. Nieuwenhuijsen y Haneen Khreis en *Environment International*, vol. 94, págs. 251-262, septiembre de 2016.

A joint ERS/ATS policy statement: What constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. George D. Thurston et al. en *European Respiratory Journal*, 49:1600419, abril de 2017.

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. Aaron J. Cohen et al. en *The Lancet*, vol. 389, págs. 1907-1918, mayo de 2017.

EN NUESTRO ARCHIVO

Alteraciones genéticas inducidas por la contaminación. Dan Fagin en *IyC*, octubre de 2008.

Calidad del aire urbano. Xavier Querol, Fulvio Amato y Andrés Alastuey en *IyC*, junio de 2010.

Mejor en bicicleta o a pie. Audrey De Nazelle en *IyC*, noviembre de 2011.

Exposición prenatal a contaminantes y salud infantil. Mireia Gascón Merlos en *IyC*, diciembre de 2014.