

La relevancia de la higiene del aire: una urgencia tras la pandemia de la COVID-19

A relevância da higiene do ar: uma urgência após a pandemia de COVID-19

The relevance of air hygiene: an urgent matter after the COVID-19 pandemic

Sebastián Crespí Rotger¹, José María Ordóñez Iriarte^{2,3}

¹ Biolinea Int. España.

² Dirección General de Salud Pública. Comunidad de Madrid. España.

³ Departamento de Salud Pública. Universidad Francisco de Vitoria. España.

Cita: Crespí Rotger S, Ordóñez Iriarte JM. La relevancia de la higiene del aire: una urgencia tras la pandemia de la COVID-19. Rev. Salud ambient. 2022; 22(1):81-90.

Recibido: 18 de enero de 2022. **Aceptado:** 18 de abril de 2022. **Publicado:** 15 de junio de 2022.

Autor para correspondencia: José María Ordóñez Iriarte.

Correo e: josemaria.ordonez@salud.madrid.org
Dirección General de Salud Pública. Comunidad de Madrid. España.

Financiación: Este grupo no ha contado con ningún tipo de financiación para el desarrollo de su trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y a la redacción del artículo. Asimismo todos los autores aprobaron su versión final.

Resumen

Históricamente, los grandes avances en salud pública -el saneamiento y la higiene del agua, así como la seguridad alimentaria- han ido muy ligados a las respuestas sanitarias dadas a los grandes brotes epidémicos que han azotado a la humanidad. La actual pandemia de la COVID-19 ha puesto de manifiesto las debilidades de la sanidad ambiental a la hora de abordar uno de los aspectos más relevantes de la prevención de las enfermedades infecciosas respiratorias: la transmisión aérea, o por aerosoles, en ambientes interiores. Si bien existen normas que regulan algunos aspectos de la calidad del aire en los edificios públicos, en la práctica no son percibidas como requisitos sanitarios o preventivos y raramente se vigila su cumplimiento. Por ello, desde la óptica de la salud pública y aprovechando la experiencia de la pandemia, parece razonable integrar la vigilancia de la "higiene del aire" en la sanidad ambiental, yendo más allá de los aspectos energéticos o de confort y enfatizando los aspectos sanitarios y microbiológicos. Ello supondría un avance sustancial en la contención de la transmisión de enfermedades infecciosas a través de los aerosoles.

Palabras clave: higiene del aire; aerosoles; enfermedades respiratorias; ventilación.

Resumo

Historicamente, os grandes avanços em saúde pública -saneamento e higiene da água, bem como segurança alimentar- estiveram intimamente ligados às respostas sanitárias dadas aos grandes surtos epidémicos que atingiram a humanidade. A atual pandemia de COVID-19 revelou as fragilidades da saúde ambiental quando se trata de abordar um dos aspetos mais relevantes da prevenção de doenças infecciosas respiratórias: a transmissão aérea, ou por aerossóis, em ambientes interiores. Embora existam normas que regulam a qualidade do ar em edifícios públicos, na prática elas não são percebidas como requisitos sanitários ou preventivos e raramente o seu cumprimento é vigiado. Portanto, do ponto de vista da saúde pública e aproveitando a experiência da pandemia, parece razoável integrar a vigilância da "higiene do ar" na saúde ambiental, indo além dos aspetos energéticos ou de conforto e enfatizando os aspetos sanitários e microbiológicos. Isso representaria um avanço substancial na contenção da transmissão de doenças infecciosas por meio de aerossóis.

Palavras-chave: higiene do ar; aerossóis; doenças respiratórias; ventilação.

Abstract

Historically, major public health advances -water sanitation and hygiene, as well as food safety- have gone hand in hand with the healthcare responses to the big epidemic outbreaks that have beset humankind. The current COVID-19 pandemic has highlighted the weaknesses of environmental health when it comes to addressing one of the most important aspects of the prevention of respiratory infectious diseases: airborne, or aerosol, transmission in indoor environments. Although there exist standards that regulate air quality inside public buildings, in practice they are not perceived as health or prevention requirements, so compliance therewith is rarely monitored. Therefore, from a public health perspective, and based on the experience gained from the pandemic, it would seem reasonable to incorporate "air hygiene" monitoring into environmental health—going beyond energy or comfort considerations and emphasizing sanitary and microbiological aspects. This would represent a substantial breakthrough in the containment of the transmission of infectious diseases via aerosols.

Keywords: air hygiene; aerosols; respiratory diseases; ventilation.

INTRODUCCIÓN

La sanidad ambiental, como herramienta de la salud pública, ha venido desarrollando históricamente un papel relevante en la prevención y el control de enfermedades. Es lógico que así sea, pues muchas dolencias tienen causas ambientales y es posible, de un modo u otro, intervenir sobre ellas¹. A menudo este papel ha sobrevenido de manera reactiva, como consecuencia de la necesidad de responder a las crisis sanitarias que han azotado nuestras sociedades a lo largo de la historia². Algunos ejemplos históricos son muy elocuentes al respecto.

Hoy está generalmente aceptado que los grandes avances en la higienización de los núcleos urbanos, como la construcción y mejora de las redes de abastecimiento del agua y de saneamiento, así como los cambios que se introdujeron en la medicina en su vertiente más social y las políticas públicas sanitarias, fueron impulsados por las sucesivas epidemias de cólera que causaron estragos en casi toda Europa en la segunda mitad del siglo XIX, lo que supuso un incremento de la esperanza de vida sin parangón en la historia de la humanidad². De igual manera, el "Great Smog" de 1952, un caso de contaminación atmosférica muy severa ocurrido en Londres que causó miles de muertos, tuvo como consecuencia la promulgación del *Clean Air Act* en 1956, una ley hecha con el objetivo de reducir las emisiones y controlar la contaminación del aire⁴. A su vez, este episodio constituyó el detonante para que la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la Conferencia que tuvo lugar en Milán, alertase sobre la importancia de vigilar la calidad química del aire y emitiera sus primeras recomendaciones sobre contaminantes químicos y partículas en suspensión⁵. Más recientemente, casos como el del Síndrome del Aceite Tóxico (1981)⁶, la enfermedad de las vacas locas (1986)⁷ o el caso de la contaminación de productos avícolas por dioxinas (1999)⁸, impulsaron la creación de la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la

promulgación de una prolija legislación en esta materia como instrumento de acción para la protección del consumidor⁹.

La incorporación del aprendizaje adquirido en la gestión de crisis sanitarias y en el manejo de brotes forma parte de la construcción y del devenir histórico de la salud pública como ciencia, en sus vertientes teóricas y prácticas. Cabe destacar que, en el caso de las enfermedades infecciosas, el descubrimiento de los agentes etiológicos y de los factores que controlan su persistencia y crecimiento en el medio ambiente, así como sus vías de transmisión, han dotado a los sanitarios ambientales y salubristas de las herramientas conceptuales necesarias para desarrollar planes preventivos eficaces para proteger la salud poblacional en estos ámbitos. Así ha ocurrido con las infecciones de origen hídrico y las toxoinfecciones alimentarias. Los actuales planes de seguridad alimentaria^{10,11} y de higiene del agua, así como las estrategias de vigilancia y control, encuentran su base en estos pilares científicos.

Sin embargo, no ha ocurrido lo mismo con las infecciones respiratorias transmitidas por el aire a pesar de que algunas tienen un gran impacto en la salud poblacional, como es el caso de la tuberculosis o la gripe estacional. La "higiene del aire" ha sido un constructo conceptual meramente anecdótico, a menudo ausente, en el ámbito de la sanidad ambiental. La actual pandemia de la COVID-19 ha evidenciado aún más, si cabe, esta anomalía y ha revelado la falta de preparación sanitaria -estructural, administrativa y operativa- para vigilar y controlar la higiene del aire en las circunstancias que puede actuar como vehículo de transmisión, sobre todo en ambientes interiores. Esta deficiencia, en el contexto pandémico, se ha intentado resolver de manera urgente publicando guías, p.ej. para las escuelas, que enfatizan la importancia de la ventilación como medida preventiva relevante. Esto, a su vez, ha tenido la virtud de abrir (o reabrir) el debate sobre la necesidad de abordar con

rigor científico los problemas de la calidad del aire en ambientes interiores y sus efectos sobre la salud, así como los de la prevención de otras enfermedades infecciosas respiratorias transmitidas por vía aérea. Recientemente, un grupo notable de científicos ha requerido, literalmente, un cambio de paradigma para combatir la infección respiratoria en interiores y ha solicitado para la higiene del aire un esfuerzo equiparable al realizado históricamente con el agua y con los alimentos¹². En este contexto, es necesario preguntarse si el ámbito de la sanidad ambiental debe permanecer ajeno a este movimiento o si, por el contrario, debería aprovechar la ocasión para posicionarse en el mismo sentido.

ENFERMEDADES INFECCIOSAS DE TRANSMISIÓN AÉREA: GOTAS Y AEROSOLES

1. LA TRANSMISIÓN AÉREA

El aire puede ser un factor de riesgo asociado a numerosas enfermedades, en la medida que puede estar contaminado por partículas y sustancias químicas diversas o por agentes biológicos, como es el caso

del polen y microorganismos patógenos diversos. En este último caso, puede actuar como vehículo de transmisión de infecciones respiratorias. De acuerdo con los criterios de la OMS, se entiende por "transmisión aérea de enfermedades aquellas que son vehiculadas por núcleos de gotitas infecciosas diseminados en el aire por el enfermo y que permanecen suspendidos en el mismo, tanto en el tiempo como en el espacio"¹³.

La tuberculosis, sarampión y varicela constituyen los ejemplos clásicos de enfermedades infecciosas de transmisión aérea, y están admitidos desde hace décadas. Pero hay muchos otros, entre los que merecen la pena destacar la gripe, los coronavirus SARS y MERS, la legionelosis y la aspergilosis (aunque en estos dos últimos casos la fuente es de origen ambiental). En Europa, según datos del Centro Europeo para la Prevención y el Control de las Enfermedades (ECDC), la gripe, la tuberculosis y la legionelosis ocupan lugares muy destacados, en términos de morbilidad y mortalidad, en el conjunto de las enfermedades infecciosas de declaración obligatoria¹⁴. Sin ánimo de exhaustividad, en la tabla 1 se recogen algunas de las enfermedades de transmisión aérea más relevantes¹⁵⁻¹⁷.

Tabla 1. Algunos microorganismos de transmisión aérea

Hongos	Virus	Bacterias
<i>Aspergillus</i> spp.	Influenza	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>
<i>Blastomyces dermatitidis</i>	Rinovirus	<i>Bordetella pertussis</i>
	Adenovirus	<i>Haemophilus influenzae</i>
	Rubeola	<i>Neisseria meningitidis</i>
	Varicela zóster	<i>Corynebacterium diphtheriae</i>
	Sarampión	<i>Legionella</i> spp.
	SARS-CoV	
	MERS-CoV	
	SARS-CoV-2	
	Virus respiratorio sincitial	

Fuente: elaboración propia a partir de Ather et al.¹⁵, García Nieto & Marta Morales¹⁶.

La infección es el resultado de una compleja interacción entre los elementos que constituyen la cadena epidemiológica: características del agente infeccioso, los mecanismos de transmisión, los factores del huésped y el medio ambiente¹⁸. En las enfermedades de transmisión aérea, son las gotas emitidas por los pacientes las que cobran una gran relevancia al ser el vehículo que lleva el agente infeccioso de la persona infectada al individuo sano, actuando, a veces, el aire como medio de transporte. Las gotas se producen en las actividades espiratorias como respirar, toser, estornudar, hablar, cantar, etc., y presentan un amplio rango de tamaños que depende,

tanto del lugar del tracto respiratorio donde se generan (de menor a mayor tamaño: alvéolo, bronquio, laringe y boca), como del propio procedimiento de formación.

Para las enfermedades infecciosas respiratorias se han identificado tres mecanismos de transmisión, no excluyentes entre sí: por contacto directo o indirecto con las secreciones respiratorias, en este último caso denominado también por fómites; por gotas, más o menos grandes, emitidas por las personas infectadas en sus actividades espiratorias, que presentan un comportamiento balístico y alcanzarían directamente

al huésped a una corta distancia (1–2 m); y a través de aerosoles, emitidos igualmente en actividades espiratorias y a veces de forma concomitante con las gotas, aunque de mucho menor tamaño, que permanecen en suspensión en el aire durante un cierto tiempo y pueden desplazarse con las corrientes mucho más allá de los 2 metros y ser respirados o inhalados por las personas circundantes. Es a esta última vía a la que realmente se denomina transmisión aérea¹⁹. Los dos primeros mecanismos, contactos y gotas, para ser eficientes, requieren generalmente de una unión o contacto cercano o “estrecho” entre la persona infectada y la persona susceptible y generalmente ocurre entre una persona y otra; en cambio, el tercero, la vía aérea, depende fundamentalmente de la concentración de aerosoles infecciosos suspendidos en el aire ambiental y puede dar lugar a fenómenos de superpropagación en el que un infectado puede causar múltiples infecciones a la vez, como ocurre, por ejemplo, con el sarampión. Por razones obvias, la vía aérea nos lleva irremediablemente a pensar preferentemente en la transmisión en ambientes interiores, sobre todo los mal ventilados y concurridos, donde los aerosoles tienden a concentrarse²⁰.

Estos mecanismos de transmisión no tienen por qué ser igual de relevantes para todas las enfermedades, ya que, para cada tipo de infección, hay condicionantes diversos (anatómicos, microbiológicos, patogénicos, epidemiológicos y otros) que pueden favorecer a uno u otro. A modo de ejemplo, se sabe que la tuberculosis requiere de la inhalación profunda, a nivel alveolar, de los aerosoles infecciosos. En cambio, en la gripe se pueden dar los tres mecanismos de transmisión (contacto, gotas y aerosoles)¹⁹. Pero incluso en este último caso, se cree que la infectividad del virus presente en aerosoles, al penetrar profundamente en los pulmones, podría ser superior (requerir de menor dosis infectiva) o podría dar lugar a una mayor severidad de la infección que la que ocurre con la simple deposición del virus en las fosas nasales o en la boca. Es lo que se llama “infección anisotrópica” y se ha observado, además de en la gripe, en la viruela²¹.

2. GOTAS VERSUS AEROSLES

Si bien fue el higienista alemán Karl Flügge (1847–1923), en el año 1897, quien señaló que son las gotitas expelidas desde el tracto respiratorio, cargadas con microorganismos, las que pueden contagiar a otras personas (“gotas de Flügge”)²², es a William y Mildred Wells (1886–1963) a quienes se deben los estudios que permitieron diferenciar entre la transmisión por gotas (grandes y con un comportamiento balístico) de la transmisión aérea o por aerosoles (*droplets nuclei*, “núcleos de gotitas”, como se definieron en los estudios originales), mucho más pequeños y suspendidos en el aire²³. Además, el desarrollo de la Aerobiología y los estudios de higiene industrial (1930–1940), sugirieron que eran precisamente

las partículas de entre 1 y 5 μm las que tenían capacidad de penetrar profundamente en el pulmón. Sin embargo, en la década de los 90 del siglo pasado, de estos estudios se infirió, equivocadamente, que los 5 μm de diámetro suponían el límite de la demarcación aproximada entre los aerosoles y las gotas. El error fue propiciado por el hecho de que el bacilo de la tuberculosis, principal preocupación de las enfermedades de transmisión aérea en aquel tiempo, para poder infectar necesita llegar a los alvéolos pulmonares, lo que solo es posible si las partículas infecciosas son muy pequeñas, esto es, de $\leq 5 \mu\text{m}$ de diámetro. De aquí, este límite de tamaño fue adoptado para distinguir las gotas de los aerosoles lo que, a su vez, creó confusión entre las infecciones atribuidas a unas y a otros. Desde entonces, este “paradigma” de las 5 micras se ha venido utilizando en las guías oficiales de la OMS, pero también en las publicaciones de otras autoridades sanitarias y en libros de texto, habiéndose mantenido hasta ahora²²⁻²⁵.

Actualmente, gracias precisamente a las revisiones realizadas con ocasión del surgimiento de la COVID-19, este “malentendido” se ha corregido y, desde el ámbito de la física y la Aerobiología, se admite que las gotas tienen un tamaño aproximado de 100–1 000 μm (de 0,1 mm a 1 mm), lo que hace que, tras ser emitidas, caigan rápidamente por gravedad a menos de 1–2 m de distancia. Se supone que contagian por impacto, al caer en las mucosas del huésped, o por contacto indirecto p.ej. fómites-manos-boca. En cambio, los aerosoles –con tamaños inferiores a 100 μm – pueden permanecer en suspensión en el aire durante un cierto tiempo y ser trasladados a distancias superiores a los 2 m, sobre todo en espacios mal ventilados donde tenderían a concentrarse (de la misma forma que lo hace el humo del tabaco, otro aerosol) y podrían ser respirados o inhalados por los concurrentes. Es importante hacer notar que los aerosoles se emiten en mucha mayor cantidad que las gotas; de hecho, se ha estimado que la concentración de aerosoles emitidos al hablar es del orden de unas 1 000 veces mayor. Además, debido a su menor tamaño, los aerosoles podrán penetrar más fácilmente en las vías respiratorias, incluso llegar directamente a los pulmones. Por una razón y por la otra, la infectividad de los aerosoles podría ser mucho mayor que la de las gotas²²⁻²⁵. Algunos autores han propuesto recientemente unificar las transmisiones por gotas y aerosoles en una sola vía (aérea) dadas las dificultades intrínsecas en separar debidamente los umbrales de tamaño entre gotas y aerosoles y los cambios que pueden experimentar las partículas emitidas en función de las condiciones ambientales²².

Por otra parte, la porción del tracto respiratorio de un huésped susceptible en el que las partículas inhaladas se depositan es una función del tamaño aerodinámico de las partículas. A grandes rasgos, entre los 15 y 100 μm alcanzan las vías respiratorias altas, entre 5 y 15 μm pueden alcanzar tráquea y bronquios principales y las

≤5 μm de diámetro pueden llegar a los alvéolos^{12,22,23,25}. Pero esta división tampoco es estricta y las partículas de rango intermedio pueden depositarse tanto en vías respiratorias superiores como inferiores^{12,22,23,25}.

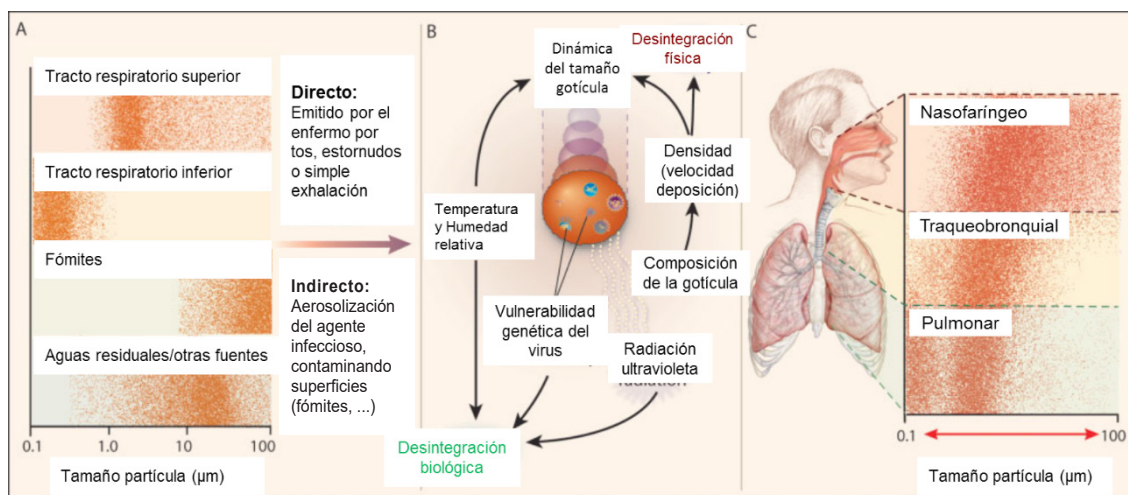
3. LOS AEROSOL Y EL AMBIENTE INTERIOR: ALGUNAS VARIABLES A CONSIDERAR

Las controversias iniciales habidas en torno a los modos de transmisión de la COVID-19 y a las intervenciones necesarias para controlar la pandemia, han puesto de relieve la necesidad de comprender mejor las vías de transmisión de los gérmenes respiratorios, lo

que permite disponer de estrategias mejor informadas para mitigar la transmisión de infecciones principalmente en los ambientes interiores, que es donde resulta mucho más relevante desde el punto de vista de la salud pública²⁶⁻³⁰ (figura 1).

Actualmente, tanto la OMS³¹, como el Ministerio de Sanidad español³² aceptan que la transmisión entre humanos del virus SARS-CoV-2 se puede producir a través de contactos, gotas y aerosoles. Cabe decir que la vía de los fómites ha ido perdiendo relevancia en la medida que no ha sido posible objetivar casos de infección por contacto indirecto, si bien permanece como una hipótesis

Figura 1. Aerobiología de las enfermedades de transmisión respiratoria. A: Cada fuente, bien sea una persona infectada o una matriz ambiental contaminada, genera gotículas de una amplia gama de tamaños. B: El tiempo que una partícula permanece en el aire (desintegración física) depende de su tamaño inicial, su composición y condiciones ambientales. De manera similar, el tiempo que un organismo permanece infeccioso en el aire (desintegración biológica) se ve afectada por el estado metabólico inicial del agente, de sus características genéticas y de las variables ambientales. C: El lugar del tracto respiratorio en el que las gotículas inhaladas se depositan en un huésped susceptible está en función del tamaño aerodinámico de las gotículas; en el rango medio, las gotículas pueden depositarse, tanto en las vías respiratorias superiores, como en las inferiores



Fuente: adaptado de Roy & Milton²⁹.

razonable³³. Por el contrario, la importancia de la vía de los aerosoles se ha visto realizada por la acumulación de evidencia científica en su favor. Por otra parte, la aparición de las variantes Delta y Ómicron del SARS-CoV-2, con una mayor transmisibilidad que las variantes iniciales, ha vuelto a poner el foco en los ambientes cerrados, donde variables como la densidad de personas, el uso de mascarillas independientemente de la distancia, la tasa de ventilación y la filtración cobran un gran interés^{30,34}.

Por todo ello, y sin menospreciar los ambientes exteriores, parece razonable que el ámbito de la sanidad ambiental aborde la transmisión aérea de enfermedades poniendo el énfasis en los ambientes interiores de

pública concurrencia. Además, es en estos ambientes donde pasamos la mayor parte de nuestro tiempo. Las variables que entran en juego en el proceso de transmisión son múltiples y, a veces, poco conocidas, todo lo cual configura un esquema complejo que puede variar notablemente en función de cada enfermedad. Queda mucho por investigar en el conjunto de estas variables y sus correspondientes interacciones entre ellas.

Las personas con enfermedades respiratorias pueden emitir gotas y aerosoles con mayor carga microbiológica si su afectación está localizada en el tracto respiratorio inferior, si presentan signos o síntomas evidentes como tos y estornudos o si, por ejemplo, elevan el volumen de

voz. Pero también la edad (los niños emiten con menor carga) y el índice de masa corporal influyen. A todo esto, hay que sumar la densidad de las personas concurrentes en un determinado espacio y el mayor o menor tiempo que estas personas pasan allí e interactúan. El éxito del proceso infeccioso depende al final de múltiples factores relacionados con el emisor y el receptor²².

Pero también, la eficacia de la transmisión se ve afectada por los factores que actúan sobre el transporte y la permanencia en el ambiente de las gotas y aerosoles cargados de microorganismos, incluidas sus propiedades fisicoquímicas (velocidad de salida del emisor, diámetro, movimiento browniano, interacción con fuerzas gravitacionales y otras) y los factores ambientales circundantes como la temperatura, la humedad relativa, la radiación ultravioleta, el flujo de aire y la ventilación^{22,30}.

La temperatura afecta la supervivencia de los virus: a mayor temperatura, menor supervivencia; esta relación se mantiene en una variedad de humedades relativas. La gripe estacional, se trasmite mejor por vía aérea en ambientes fríos y secos³⁰. Las bacterias, sin embargo, son más resistentes a la temperatura que los virus y su relación con la humedad relativa es menos conocida, aunque podría ser un factor favorable en algún caso, p.ej. la *Legionella*. Pero la temperatura y la humedad también afectan al tamaño de los aerosoles una vez emitidos (comportamiento dinámico) lo que, a su vez, podría alterar la viabilidad de los microorganismos presentes, viabilidad que es muy diferente en cada caso^{22,30}. Por su parte, las radiaciones UV, inactivan los microorganismos³⁰.

En resumen, la transmisión aérea de las enfermedades infecciosas viene modulada por múltiples variables, intrínsecas (del emisor y del agente infeccioso) y extrínsecas (del medio ambiente y del receptor) y es posible actuar sobre algunas de ellas. En ambientes interiores, por ejemplo, los aforos, la ventilación, la temperatura y la humedad relativa son ejemplos claros en los que se puede intervenir con fines preventivos o de control.

4. ALGUNAS MEDIDAS PARA EVITAR LA TRANSMISIÓN AÉREA

La aceptación del papel relevante de los aerosoles en la transmisión del SARS-CoV-2 y de otras infecciones respiratorias muy prevalentes como la gripe, el virus respiratorio sincitial o el resfriado común, implica la necesidad de enfocar las tareas preventivas de una manera específica, poniendo el foco en los ambientes interiores, donde se producen probablemente la mayoría de infecciones^{12,31}.

Mientras que la prevención en las vías de transmisión por contactos y gotas requiere esencialmente evitar los contactos estrechos, la limpieza de manos y superficies

y una higiene respiratoria básica (incluida la mascarilla higiénica o quirúrgica a corta distancia), reducir la transmisión aérea de los microorganismos requiere de medidas para evitar la respiración o inhalación de aerosoles infecciosos, muy en particular en ambientes interiores, lo que incluye la ventilación, la filtración del aire con filtros de alta eficacia (o su desinfección con métodos apropiados cuando sea posible), el uso de mascarillas independientemente de la distancia y un mayor grado de protección respiratoria—por ejemplo el uso de mascarillas FFP2—para el personal sanitario y personas vulnerables en situación de evidente riesgo biológico²⁶.

De manera general, la prevención de las enfermedades infecciosas respiratorias requerirá de intervenciones en varios frentes, que afectan al ámbito individual y al colectivo. Así, una primera medida preventiva tendría que ver con la fuente de contagio, esto es, con la persona infectada. La educación sanitaria de la población es crucial para lograr que las personas con síntomas (gripe estacional, el catarro común, SARS-CoV-2, etc.) tomen medidas precautorias básicas para prevenir los contagios, medidas que pueden variar según los casos pero que irremediamente deberán pasar por disminuir los contactos sociales (incluso quedarse en casa), el uso de la mascarilla y la práctica rigurosa de medidas higiénicas básicas. La experiencia de la actual pandemia, con los frecuentes mensajes de la regla de las 3M (metros, mascarilla y manos), no solo válida para la COVID-19, ha podido concienciar al respecto³². De manera interesante, en algunos países con experiencias previas de epidemias por otros coronavirus p.ej. SARS o MERS, como China, Taiwán, Corea o Vietnam, el uso de la mascarilla ha quedado como práctica muy habitual en determinadas situaciones de riesgo.

La segunda medida tiene que ver con la calidad del aire ambiental de los espacios cerrados, donde la ventilación frecuente, natural o mecánica, resulta eficaz para disminuir la concentración de gérmenes patógenos suspendidos en el aire. Incorporar la ventilación natural frecuente al conjunto de las pautas habituales de limpieza y mantenimiento, no es una tarea complicada y puede resultar muy eficaz para los ambientes interiores de pequeño volumen que no dispongan de ventilación mecánica.

Por su parte, los centros sanitarios y sociosanitarios (residencias de personas mayores y otros colectivos vulnerables), las grandes superficies, hoteles, colegios y, en general, los edificios grandes con elevada concurrencia de personas, los que se podrían denominar “edificios prioritarios”, deberían, caso de no tenerlos, de dotarse de sistemas de ventilación mecánica automática, vinculada o no a los sistemas de aire acondicionado y climatización¹², con sus correspondientes sistemas de filtración cuando fueran necesarios. Estos sistemas de ventilación y

filtración deberían ser capaces de garantizar un aire interior de alta calidad y con una baja concentración de gérmenes patógenos.

UN NUEVO RETO PARA LA SALUD AMBIENTAL: LA HIGIENE DEL AIRE EN AMBIENTES INTERIORES

Vista la importancia que tiene la calidad del aire interior en la prevención de las enfermedades respiratorias infecciosas, cabe preguntarse si la sanidad ambiental se enfrenta a un nuevo reto histórico y, si es así, cómo y en qué condiciones debe afrontarlo.

La pandemia de la COVID-19 no será la última. Es muy probable que la crisis climática, la otra gran amenaza de la humanidad, agudice las crisis sanitarias, incluidas las infecciones de transmisión aérea. Los sanitarios que trabajan en las distintas áreas de la sanidad ambiental deben prepararse para este escenario y poner cuanto antes las bases teóricas y prácticas para poder ayudar a mitigar y controlar las enfermedades actuales o futuras que se transmitan por vía aérea, mediante aerosoles. El control de la higiene del aire en ambientes interiores, con toda la normativa que sea necesaria, será clave en el futuro^{12,34} (tabla 2).

Tabla 2. Valores de referencia para algunos parámetros relativos a la calidad del aire interior, según diferentes instituciones y Normas

PARÁMETROS (Unidades)	REFERENCIAS NORMATIVAS E INSTITUCIONES					
	OMS	RITE ³⁸	UNE 171330-2 ³⁹		INSHT ⁴⁷	CTE ³⁷
			Valor confort	Valor límite		
Temperatura (°C)	-	23–25 (v); 21–23 (i)	23–25 (v); 21–23 (i)	17–27	17–27	-
Humedad relativa (%)	-	45–60 (v); 40–50 (i)	30–70	-	30–70	-
Tasa de ventilación (l/s/p)	10 ³⁴	12,5 (IDA 2)*	-	-	8,3	-
ACH (cambios de aire por hora)	5–6 ³⁴	-	-	-	-	-
Velocidad aire (m/s)	-	0,25–0,75	-	-	0,25–0,5	-
Filtración (eficiencia)	MERV 14 / ISO ePM1 70–80 %** ³⁴	-	-	-	-	-
Desinfección	-	-	-	-	-	-
CO ₂ (ppm)	-	500 + 400 ext.	$[CO_2]_{int} - [CO_2]_{ext}$ < 500	2 500	900–2 500	< 900
CO (ppm)	35 ⁴⁸ media/hora	-	< 5	9	5–9	-
O ₃ (ppm)	-	-	< 0,1	< 0,2	0,05–0,1	-
COV (µg/m ³)	-	-	< 200	< 3 000	-	-
PM2,5 (µg/m ³)	25 ⁴⁸	-	< 20	1 000	-	-
Radón (Bq/m ³)	100 ⁴⁸	-	200		600	300
Recuento de bacterias / hongos (ufc/m ³)	-	-	Bacterias < 600 *** Hongos < 200 ***		-	-

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes referenciadas.

* IDA 2: aire de buena calidad.

** Dependiendo de la tasa de ventilación, recirculación y otras particularidades técnicas del sistema.

*** Cuando se superen estos valores se deben tener en cuenta los valores exteriores.

Ya existen antecedentes legislativos que han propiciado algunas intervenciones en esta materia: por ejemplo, el caso de las piscinas cubiertas³⁵, la normativa sobre prohibición del tabaco³⁶, el Código Técnico de Edificación al que, además se le acaba de incorporar la regulación sobre el radón³⁷ y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE)³⁸. En estos dos últimos casos, aun aceptando su gran trascendencia, cabe decir que su objetivo ha estado enfocado fundamentalmente a los aspectos de ahorro energético y de "confort", más que a los relacionados propiamente con la salud. Más colateralmente, a la par que la normativa, también existen elaboraciones teóricas que sirven de modelo para abordar este reto: es el caso del documento "Calidad del ambiente interior en edificios de uso público"¹⁶, o alguna norma UNE, muy en particular la Norma UNE 171330-2:2014 sobre calidad ambiental interior³⁹ (tabla 2).

Además, en España, a lo largo del ciclo pandémico, se ha planteado en diversas ocasiones, y con mayor o menor intensidad, la necesidad de controlar los ambientes interiores. Así, durante el verano del año 2020, se elaboraron pautas para el uso de los sistemas de aire acondicionado⁴⁰. Después, en 2021, relacionado con la apertura del curso escolar, se discutió la necesidad de asegurar una correcta ventilación en los centros educativos⁴¹ (en ambos casos el Ministerio de Sanidad y el de Ciencia e Innovación publicaron guías y recomendaciones al respecto), pero también en el ámbito de la restauración y del ocio para las que, sirva de ejemplo, se editaron las Guías de la Comunidad de Madrid y de la Junta de Andalucía^{42,43}. A esto, hay que unir los consejos y publicaciones de otros organismos como el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Colegio General de la Arquitectura Técnica de España, el Clúster Hábitat Eficiente (AEICE), de sociedades científicas, como la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA) y las normativas de algunas Comunidades Autónomas (Madrid, Islas Baleares, Galicia, etc.) sobre ventilación fundamentalmente para residencias, centros de enseñanza y restauración. Estos posicionamientos han sido puntuales y se han visto muy ligados a los esfuerzos para controlar la pandemia.

A nivel internacional, e igualmente en relación con el control de la pandemia, cabe destacar la guía sobre ventilación publicada por la OMS³⁴, el documento de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE)⁴⁴, las recomendaciones de la Federación de Asociaciones Europeas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (REHVA)⁴⁵, la guía para centros escolares de la Universidad de Harvard⁴⁶ y, con anterioridad a la pandemia, los criterios del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)⁴⁷ y los definidos para ambientes interiores por la OMS⁴⁸. Todas estas guías, en particular la

guía sobre ventilación de la OMS, constituyen excelentes referencias a tener en cuenta a la hora de diseñar planes de futuro en relación con la higiene de aire en interiores.

En definitiva, el concepto de "higiene del aire", acuñado por Wells a mediados del siglo pasado, captura muy bien la idea de la importancia sanitaria del aire y sugiere de inmediato la necesidad de mantener y preservar los ambientes interiores desde una perspectiva "higiénica", más allá de los también necesarios criterios de confort y de calidad³⁸. Por supuesto, habría que definir con más precisión y rigor este término y ya ha habido alguna propuesta en este sentido¹². Sea como sea, siguiendo la estela de los términos "seguridad alimentaria" o "higiene hídrica", el término "higiene del aire" debería evocar la ausencia de los peligros (físicos, químicos y biológicos) asociados al aire de ambientes interiores susceptibles de perjudicar la salud de las personas. De entrada, y aún a riesgo de simplificar, la higiene del aire debería entender y preocuparse de la adecuada ventilación de los edificios de uso colectivo (p. ej., con mediciones de CO₂), de la adecuada filtración del aire (por ejemplo, controlando la concentración de partículas PM_{2,5}) y de las necesidades de desinfección cuando fuesen necesarias (por ejemplo, analizando la concentración de microorganismos en aire ambiental⁴⁹). Respecto de esta última, la desinfección del aire, debe reconocerse que queda mucho por hacer y, a día de hoy, quizás con la posible excepción de ciertos tipos de lámparas UV, no tenemos todavía métodos eficaces y seguros, si bien es verdad que las necesidades de desinfección, en ambientes con buena ventilación (y filtración si hace falta), pueden ser muy puntuales.

Ventilación, filtración y desinfección, son conceptos que pueden ser fácilmente entendibles para todos, titulares y usuarios, y controlables con recursos modestos por las Administraciones públicas. Establecidos los requerimientos básicos, se podría profundizar en cómo alcanzarlos y sobre el papel que deberían jugar los diferentes actores (incluidos los de otras Administraciones y servicios no propiamente sanitarios por ejemplo, del ámbito de Industria o también de los servicios de prevención), todo ello, pensando especialmente en los edificios prioritarios donde concurren personas especialmente vulnerables como los hospitales, residencias de personas mayores, centros penitenciarios, hoteles, escuelas y similares.

En el pasado, la Sanidad Ambiental, en su sentido amplio, fue capaz de incorporar a su acervo científico y profesional los campos de la seguridad alimentaria e hídrica. Ahora debería hacer lo mismo con la higiene del aire interior. La prevención y control de las enfermedades respiratorias infecciosas requiere de múltiples intervenciones y las relativas a la vigilancia y control de la higiene del aire en los edificios de uso público deberían ocupar un lugar muy relevante.

BIBLIOGRAFÍA

- Prüss-Ustün A, Wolf J, Corvalán C, Bos R, Neira M. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva: World Health Organization. 2016. [citado el 10 de enero de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565196>.
- Baldwin P. Contagion and the State in Europe 1830–1930. Cambridge: Cambridge University Press. 1999.
- Logan WP. Mortality in the London fog incident, 1952. *Lancet*. 1953; 1(6755): 336–8.
- Clean Air Act 1956. UK Public General Acts. [citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/Eliz2/4-5/52/enacted>.
- World Health Organization (WHO). Technical Report Series nº 157. Geneva: World Health Organization. 1958.
- Terracini B, editor. Toxic oil syndrome. Ten years of progress. Copenhagen: World Health Organization, Instituto de Salud Carlos III. 2004.
- Babín Vich F. Encefalopatía espongiiforme bovina: el “mal de las vacas locas”. *Rev. Adm. San.* 2006; (4):655–73.
- Decisión de la Comisión, de 24 de junio de 1999, por la que modifican las Decisiones 1999/363/CE y 1999/389/CE en lo que se refiere a las medidas de protección contra la contaminación por dioxinas de determinados productos. DOCE nº 159, de 25 de junio de 1999.
- Reglamento (CE) 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria. DOCE nº 31, de 1 de febrero de 2002.
- Codex Alimentarius Commission. General principles of food hygiene CXC 1-1969. Adopted in 1969. Amended in 1999. Revised in 1997, 2003, 2020. Editorial corrections in 2011. Volume 1B. Rome: FAO/WHO. 1985.
- Codex Alimentarius Commission. Guidelines for the application of the Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) System. Volume 1B. Rome: FAO/WHO. 1993.
- Morawska L, Allen J, Bahnfleth W, Bluyssen PM, Boerstra A, Buonanno G et al. A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. *Science*, 2021; 372(6543):689–91.
- Atkinson J, Chartier Y, Pessoa-Silva CL, Jensen P, Li Y, Seto WH. Ventilación natural para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. 2009.
- Cassini A, Colzani E, Pini A, Mangen J, Plass D, McDonald SA, et al. Impact of infectious diseases on population health using incidence-based disability-adjusted life years (DALYs): results from the Burden of Communicable Diseases in Europe study, European Union and European Economic Area countries, 2009 to 2013. *Euro Surveill*. 2018; 23(16):pii=17-00454. doi:10.2807/1560-7917.ES.2018.23.16.17-00454.
- Ather B, Mirza TM, Edemekong PF. Airborne Precautions. En: *StatPearls*. Treasure Island (FL). [actualizado el 4 de noviembre de 2021; citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: <https://europepmc.org/books/n/statpearls/article-41609?extid=34033360&src=med>.
- García Nieto A, Marta Morales I. Calidad del aire interior en edificios de uso público. Dirección General de Salud Pública. Madrid: Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. 2019.
- Piédrola Gil. Medicina Preventiva y salud pública. 12ª edición. Barcelona: Elsevier. 2015.
- Gil Cuesta J, Vaqué Rafart J. Aspectos básicos de la transmisibilidad. *Vacunas* 2008; 9(19):119–29.
- Stilianakis NI, Drossinos Y. Dynamics of infectious disease transmission by inhalable respiratory droplets. *J. R. Soc. Interface* 2010; 7:1355–66.
- Robinson M, Stilianakis NI, Drossinos Y. Spatial dynamics of airborne infectious diseases. *J. Theor. Biol.* 2012; 297:116–26.
- Milton DK. What was the primary mode of smallpox transmission? Implications for biodefense. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2012; 2:150.
- Drossinos Y, Weber TP, Stilianakis NI. Droplets and aerosols: An artificial dichotomy in respiratory virus transmission. *Health Sci. Rep.* 2021; 4:e275.
- Wells WF. On AIR-borne infection. Study II. Droplets an droplet nuclei. *Am. J. Epidemiol.* 1934; 20 (3):611–18.
- Hare R. The transmission of Respiratory Infections. *J. R. Soc. Med. Section of Patology.* 1964; 57(3):221.
- Randall K, Ewing ET, Marr LC, Jimenez JL, Bourouiba L. How did we get here: what are droplets and aerosols and how far do they go? A historical perspective on the transmission of respiratory infectious diseases. *Interface Focus* 2021; 11(6): 20210049. doi:10.1098/rsfs.2021.0049.
- Morawska L, Milton DK. It is time to address airborne transmission of coronavirus diseases 2019 (COVID-19). *Clin. Infect. Dis.* 2020; 71(9):2311–13.
- Milton DK. A Roseta Stone for understanding infections drops and aerosols. *J. Pediatr. Infect. Dis. Soc.* 2020; 9(4):413–15.
- Greenhalgh T, Jimenez JL, Prather KA, Tufekci Z, Fisman D, Schooley R. Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *Lancet* 2021; 397(10285):1603–5. doi:10.1016/S0140-6736(21)00869-2.
- Roy CJ, Milton D. Airborne transmission of communicable infection - the elusive pathway. *N. Engl. J. Med.* 2004; 350(17):1710–12. doi:10.1056/NEJMp048051.
- Wang ChC, Prather KA, Sznitman J, Jiménez JL, Lakdawala SS, Tufekci Z, et al. Airborne transmission of respiratory viruses. *Science* 2021; 373:981.
- World Health Organization (WHO). Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted? [actualizado el 23 de diciembre de 2021; citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>.
- Ministerio de Sanidad. Enfermedad por coronavirus, COVID-19. [actualizado el 15 de enero de 2021; citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: <https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/ITCoronavirus.pdf>.
- Goldman E. Exaggerated risk of transmission of COVID 19 by fomites. *Lancet Infect. Dis.* 2020; 20(8):892–93.

34. World Health Organization (WHO). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. Geneva: WHO. 2021.
35. Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscinas. BOE nº 244, del 11 de octubre de 2013.
36. Ley 42/2010, de 30 de diciembre, por la que se modifica la Ley 28/2005, de 26 de diciembre, de medidas sanitarias frente al tabaquismo y reguladora de la venta, el suministro, el consumo y la publicidad de los productos del tabaco. BOE nº 318, de 31 de diciembre de 2010.
37. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE nº 311, de 27 de diciembre de 2019.
38. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. BOE nº 207, de 29 de agosto de 2007.
39. Norma UNE 171330-2:2014. Calidad ambiental en interiores. Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior. Madrid: AENOR. 2014.
40. SESA-SESPAS. Los sistemas de aire acondicionado en locales de pública concurrencia y la COVID-19. Pronunciamento conjunto de SESA y SESPAS, mayo de 2020. [actualizado el 25 de mayo de 2020; citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: <https://sespas.es/2020/05/25/posicionamiento-sesa-sespas-sobre-los-sistemas-de-aire-acondicionado-en-locales-de-publica-concurrencia-y-la-covid-19/>.
41. Ministerio de Sanidad. Evaluación del riesgo de la transmisión del SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones. [actualizado el 18 de noviembre de 2020; citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: https://www.mschs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Aerosoles.pdf.
42. Álvarez Rodríguez MO, Álvarez Ruiz N, Marta Morales I, Ordóñez Iriarte JM. Guía de buenas práctica de ventilación en el sector de la hostelería. Madrid: Comunidad de Madrid. 2021.
43. Subdirección de Protección de Salud. Dirección General de Salud Pública y Ordenación Farmacéutica. Guía de buenas prácticas para la ventilación de espacios interiores de establecimiento de hostelería y ocio. Sevilla: Consejería de Salud y Familias, Junta de Andalucía. 2021.
44. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols. [actualizado el 14 de abril de 2020; citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_infectiousaerosols_2020.pdf.
45. Federation of European Heating, Ventilations and Air-Conditioning Associations (REHVA). REHVA COVID-19 Guidance, version 4.0. [actualizado el 17 de noviembre de 2020; citado el 15 de marzo de 2022] Disponible en: https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4_23112020_V2.pdf.
46. Allen J, Spengler J, Jones E, Cedeno-Laurent J. Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas (traducción María Cruz Minguillón). Universidad de Harvard T.H. Chan. [actualizado en agosto de 2020; citado el 14 de enero de 2022] Disponible en: https://schools.forhealth.org/wp-content/uploads/sites/19/2021/09/SPANISH_Harvard-Healthy-Buildings-program.How-to-assess-classroom-ventilation.11-17-2020.pdf.
47. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Calidad de ambiente interior en oficinas; identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo. Madrid: INSHT. 2015. [citado el 10 de enero de 2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/96076/CAI+en+oficinas.pdf/cf678a1a-ac21-40a7-9c31-a22efe5428d3?t=1526555136853>.
48. World Health Organization (WHO). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Copenhagen: WHO. 2010.
49. Norma UNE 100012IP. Higienización de sistemas de climatización. Madrid: AENOR. 2004.