

Transmisión del SARS-CoV-2 por gotas respiratorias, objetos contaminados y aerosoles (vía aérea).

Revisión de evidencias

23 julio 2020



Autores.

Francisco Vargas Marcos^a, Manuel Ruiz de Adana^b, Isabel Marín Rodríguez^c,
Stella Moreno Grau^d.

- a) Médico-Epidemiólogo. C.M. de la Sanidad Nacional. MSP. Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Dirección General de Salud Pública. Ministerio de Sanidad.
- b) Dr. Ingeniero Industrial. Profesor Universidad de Córdoba.
- c) Farmacéutica. Presidenta de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA).
- d) Dra. en Farmacia. Presidenta de la Asociación Española de Aerobiología (AEA).
Catedrática de Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Cartagena.

Contenido

1. Introducción (pág.4).
2. Mecanismos de transmisión de SARS-CoV-2 por gotas respiratorias grandes, objetos y superficies contaminadas y por microgotas respiratorias o aerosoles (vía aérea), (pág.6).
3. Persistencia del SARS-CoV-2 en materiales y superficies (pág.10).
4. Vía de transmisión aérea por aerosoles (pág.12).
5. Nuevo modelo de emisiones respiratorias. Evidencias sobre la vía de transmisión aérea por aerosoles (pág.22).
6. Estrategias de prevención de la vía aérea en instalaciones de climatización (pág.32).
7. Observaciones finales (pág.35).
8. Referencias (pág.40).

1. Introducción

Con motivo de la pandemia de COVID-19 y su impacto sanitario, social y económico, han surgido numerosos estudios experimentales sobre la **vía de transmisión aérea** del SARS-CoV-2 mediante aerosoles (airborne transmission, en inglés) y su persistencia en materiales y superficies de contacto que pueden ser vehículo de transmisión de la enfermedad. Por analogía con otras enfermedades se han planteado dudas sobre la posibilidad de su propagación por los sistemas de ventilación y aire acondicionado en espacios cerrados.

La OMS en un documento técnico reciente (1) ha actualizado su opinión sobre las vías de transmisión del SARS-CoV-2. A la luz de las nuevas evidencias admite, con cautela, la posibilidad de que en ciertos ambientes interiores con muchas personas que no mantienen la distancia de seguridad, sin protección facial, en espacios cerrados y mal ventilados se puede producir la transmisión aérea combinada con la vía por gotas (grandes) y por contacto.

La vía de transmisión aérea es la que recientes investigaciones postulan como una vía adicional que puede explicar la presentación de varios brotes atribuidos a la inhalación de pequeñas microgotas o bio-aerosoles portadores de virus. Esta vía de transmisión puede estar asociada al aumento de los brotes de COVID-19. Asumir la existencia y la contribución de esta vía en la transmisión de la COVID-19 puede tener importantes implicaciones para controlar la pandemia si se confirman los resultados de algunos estudios recientes y para aclarar las vías de transmisión de otras enfermedades respiratorias provocadas por virus.

Para aclarar el impacto de la vía de transmisión aérea se revisan y actualizan los estudios publicados sobre la transmisión de SARS-CoV-2 a través de las gotas respiratorias pequeñas (bio-aerosoles) que se emiten al hablar, respirar, gritar, cantar, toser o estornudar.

El análisis de recientes brotes de COVID-19 en espacios cerrados (ambientes interiores) con muchas personas y una deficiente ventilación

(restaurantes, lugares de ensayo de canto, cruceros, autobuses, centros de trabajo, etc.) respalda la existencia de la transmisión aérea de COVID-19 por bio-aerosoles. Para entender mejor la contribución de esta vía de transmisión aérea se resumen los nuevos estudios experimentales sobre la emisión de gotas respiratorias (dinámica de fluidos).

Los resultados de los estudios epidemiológicos retrospectivos de los brotes recientes de COVID-19 confirman la necesidad de tener en cuenta el grado de participación de la vía de transmisión aérea como una vía más de transmisión y de aplicar medidas preventivas que reduzcan o eviten la transmisión del SARS-Cov-2. Los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (CVAC) pueden desempeñar un papel relevante para evitar o prevenir este modo de transmisión.

Con este objetivo, por un principio de precaución, el Ministerio de Sanidad ha promovido y coordinado la redacción de un documento técnico más específico que recoge las recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación para la prevención de la propagación del SARS-CoV-2. Disponible en la web del Ministerio de Sanidad:

https://www.mscbs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/Recomendaciones_de_operacion_y_mantenimiento.pdf

Estas recomendaciones se basan en las establecidas por las agencias internacionales, organizaciones profesionales competentes y con acreditada experiencia en la operación, mantenimiento, evaluación y gestión del riesgo de las instalaciones relacionadas con la ventilación y climatización (OMS, ECDC, ASHRAE, REHVA, ATECYR, FEDECAI) y Sociedades científicas implicadas en la prevención de los factores ambientales que influyen en la salud (SESA y AEA). Su aplicación efectiva permitirá una reducción significativa del riesgo de transmisión por la vía aérea por bio-aerosoles en nuestro país en edificios y locales.

En esta línea el European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) ha publicado un documento monográfico sobre la evidencia de la transmisión en espacios cerrados del SARS-CoV-2 y el papel de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Un grupo de más de 200 científicos y especialistas en aerosoles ha publicado un llamamiento para que las agencias y autoridades sanitarias adopten medidas preventivas para reducir la transmisión aérea por bio-aerosoles.

A la luz de las evidencias científicas sobre la posibilidad de que el virus SARS-CoV-2 se pueda transmitir mediante aerosoles en ambientes interiores, con alta ocupación y mal ventilados, la Organización Mundial de la Salud (OMS) (1) insta a realizar de forma urgente nuevas investigaciones que permitan aclarar el papel que juegan las diferentes vías de transmisión y de forma específica el papel de la transmisión mediante aerosoles.

Finalmente, en coherencia con las evidencias sobre la transmisión aérea se señalan las estrategias generales de prevención en instalaciones de climatización, ventilación y aire acondicionado, en ambientes interiores, especialmente en los que acogen a muchas personas en espacios reducidos y poco ventilados.

2. Mecanismos de transmisión de SARS-CoV-2 por gotas respiratorias (grandes), por contacto con objetos y superficies contaminados (fómites) y por vía aérea por microgotas o aerosoles (airborne transmission)

La evidencia actual sugiere que el SARS CoV-2 se transmite principalmente mediante la propagación por el contacto directo persona a persona. Entender los mecanismos de propagación del SARS-CoV-2 es esencial para adoptar las medidas de salud pública para prevenir y controlar la pandemia.

Según la OMS (1) las infecciones respiratorias por SARS-CoV-2 pueden transmitirse por las siguientes **vías de transmisión:**

2.1 Transmisión por gotas respiratorias y por contacto

La transmisión de SARS-CoV-2 puede ocurrir por contacto directo, indirecto o contacto estrecho con personas infectadas a través de secreciones infectadas como la saliva y secreciones respiratorias o gotas respiratorias que son emitidas cuando la persona infectada tose, estornuda, habla o canta. Las gotas respiratorias son de dos tipos: **Gotas respiratorias grandes** (respiratory droplets, en inglés) **de tamaño entre 5 y 10 μm** y **Gotas pequeñas, micro gotas, de tamaño inferior o igual a 5 μm** , también conocidas como núcleo de gota o **aerosoles** (droplet nuclei, en inglés). Las gotas respiratorias grandes caen por gravedad al suelo en una distancia de 1-2 metros.

La transmisión directa por gotas respiratorias puede ocurrir cuando una persona está en contacto estrecho (menos de 1 metro) con una persona infectada con síntomas respiratorios (toser o estornudar) o que esté cantando o hablando. En estas circunstancias las gotas respiratorias que contienen el virus pueden alcanzar la boca, nariz o los ojos de una persona susceptible y provocar su infección. La transmisión por contacto indirecto se produce cuando una persona susceptible entra en contacto con un objeto o superficie contaminada (fómite). En la figura 1 se resumen los mecanismos de transmisión.

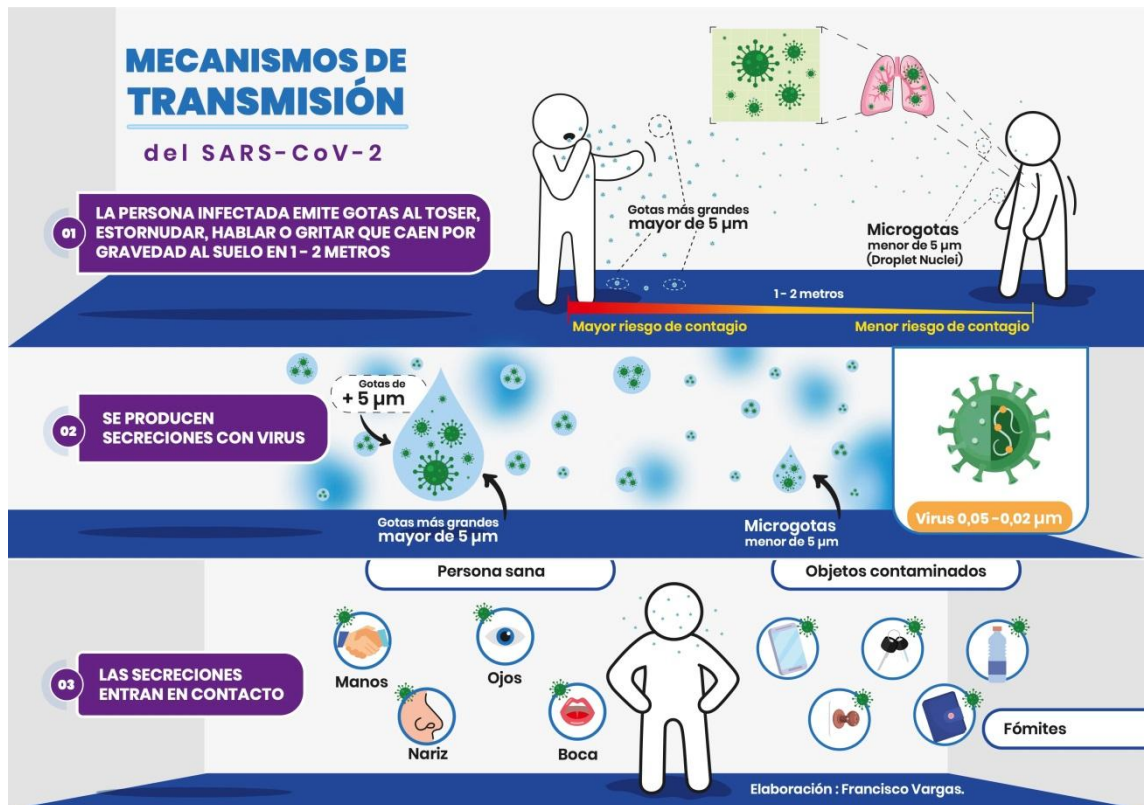


Figura 1. Mecanismos de transmisión del SARS-CoV-2.

2.2 Transmisión aérea por aerosoles (airborne transmisión)

La transmisión aérea por aerosoles (gotas pequeñas, micro gotas menores de 5 μm ,) se produce por partículas que permanecen suspendidas en el aire durante un tiempo variable, a una distancia mayor de 2 metros y especialmente en lugares cerrados con ventilación escasa.

Estos aerosoles pueden generarse a partir de la evaporación de gotas mayores y también cuando se habla o se respira.

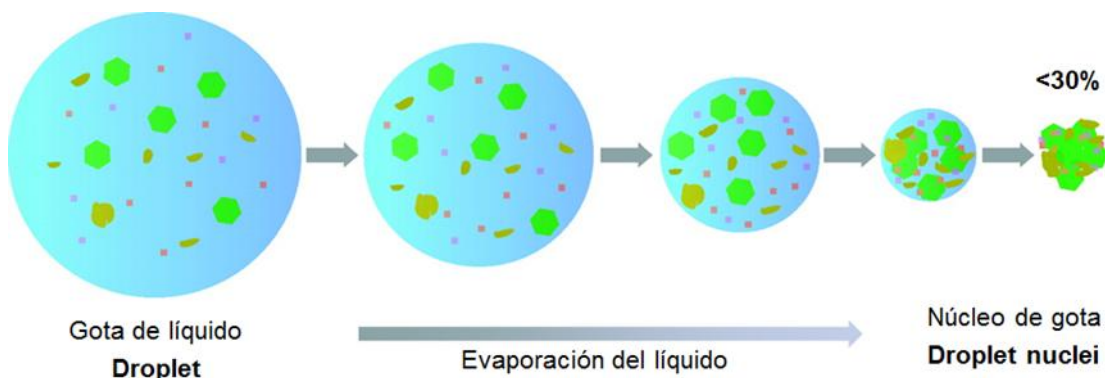


Figura 2. Bioaerosoles: droplets y droplets nuclei. Evaporación

Fuente: Adaptado de Verreault, D. Methods for Sampling of Airborne Viruses. Microbiol Mol Biol Rev 2008, 72 (3): 413-44

Para el caso del SARS-CoV-2 todavía se desconoce qué proporción de aerosoles se generan por evaporación de gotas mayores y qué dosis de virus viable se considera infecciosa en estos aerosoles. Del mismo modo, la detección de ARN del SARS-CoV-2 en las partículas de aerosol no significa necesariamente que exista un número suficiente de virus viables con capacidad infecciosa. A pesar de que se han realizado estudios experimentales, para el SARS-CoV-2, la OMS establece que la transmisión del SARS-CoV-2 por vía de aerosoles menores de 5 μm , fuera de los entornos sanitarios donde se generan aerosoles no ha sido demostrada y que se necesitan nuevos datos basados en nuevas investigaciones que esclarezcan el papel y el grado de la transmisión del SARS-CoV-2 asociado a esta vía de transmisión.

2.3. Transmisión por Fómites.

Es posible la transmisión indirecta a través de objetos o superficies (fómites) contaminados con secreciones infectadas aunque no existe evidencia que haya demostrado directamente esta transmisión la OMS la acepta. Se ha detectado virus viable de SARS-CoV-2 y RNA mediante PCR en superficies y materiales que permanecen durante horas o días, dependiendo de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y en función del tipo de superficie.

2.4. Otras vías de transmisión

No se ha demostrado la transmisión a través de orina, heces, plasma, suero o leche materna a pesar de detectarse el virus en este tipo de fluidos. Tampoco se ha demostrado la transmisión intrauterina desde la mujer embarazada al feto, aunque los datos disponibles son limitados.

3. Persistencia del SARS-CoV-2: materiales, superficies y aire

Se han observado diferentes niveles de contaminación ambiental (en superficies) en habitaciones ocupadas por pacientes con COVID. Sin embargo, no se observó contaminación del aire en las muestras de estas habitaciones (2). Si se detectó alguna partícula viral en las salidas (rejillas) de los conductos del aire que pueden ser posteriormente depositadas en superficies, lo que indica que el virus puede recorrer distancias superiores a los 2 metros. Sin embargo, este hallazgo no implica que exista un riesgo elevado de transmisión por vía aérea.

Según se recoge en el documento del Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES) "Información científica-técnica: Enfermedad por coronavirus, COVID-19", el contacto con fómites contaminados con secreciones o superficies (mano a mano, superficie a mano, etc.) seguido del contacto con la mucosa de la boca, nariz y ojos (3) es otra de las rutas implicadas en la transmisión del virus. El SARS-CoV-2 se ha detectado en secreciones nasofaríngea, incluyendo la saliva (4).

La permanencia de SARS-CoV-2 viable en superficies de cobre, cartón, acero inoxidable y plástico ha sido de 4, 24, 48 y 72 horas, respectivamente, cuando se mantiene a 21-23°C y con 40% de humedad relativa (5). En otro estudio, a 22°C y 60% de humedad, se deja de detectar el virus tras 3 horas sobre superficie de papel (de imprimir o pañuelo de papel), de 1 a 2 días cuando lo aplican sobre madera, ropa o vidrio y más de 4 días cuando se aplica sobre acero inoxidable, plástico, billetes de dinero y mascarillas quirúrgicas (6).

La evidencia actual sugiere que el SARS-CoV-2 puede permanecer viable durante horas o días en superficies fabricadas con una amplia variedad de materiales. En la tabla 1 se resume la información disponible sobre la persistencia del virus en determinados materiales y diversos estudios.

Tabla 1. Persistencia del virus.

Material	Temperatura	Tiempo de persistencia
Plástico	22-25°C	2-7 días *
Aluminio	21°C	2-8 horas
Guantes quirúrgicos	21°C	< 8 horas
Papel		3 horas, 4-5 días*
Acero	20°C	48 horas – 7 días*
Madera		2-4 días*
Metal		5 días
Cristal		4 días
Tela		2 días
Billete		4 días
Mascarilla, capa interna		7 días
Mascarilla, capa externa		> 7 días
Aire post aerosolización		3 horas a 16horas (1)
Cobre		4horas
Cartón		24 horas

Elaboración. Sub. Gral. de Sanidad Ambiental y Salud Laboral (DGSPCI). Ministerio de Sanidad. *Dependiendo del estudio. (1) Fears et al. 2020.

Tras aumentar la limpieza de los baños y reducir el número de sanitarios usando las habitaciones, se redujeron los contajes. Se desconoce el significado de estos hallazgos y si la cantidad detectada puede ser infectiva (7). En otros contextos, no se ha podido detectar SARS-CoV-2 en muestras de aire tomada a 10 centímetros de la boca de una persona infectada con cargas virales en torno a 10⁶ en nasofaringe y oro faringe, a la que se pidió que tosiera, ni en muestras de aire de las habitaciones de tres pacientes hospitalizados (2,8). Durante el brote de SARS-CoV-1 de 2003 se pudo detectar la presencia del virus en el aire de habitaciones de pacientes

hospitalizados y mediante modelización matemática, se sugirió que la vía aérea pudo ser una vía de transmisión de la infección (9,10).

En un reciente informe técnico del ECDC (11), dirigido a las autoridades de salud pública, se establecen unas directrices generales sobre limpieza y desinfección ambiental de centros sanitarios y otros lugares potencialmente contaminantes.

4. Vía de transmisión aérea por aerosoles (airborne transmission)

Además de la transmisión por gotas respiratorias y por fómites existe una creciente evidencia de la transmisión aérea por aerosoles. Según numerosos autores este tipo de transmisión se realiza por micro gotas de tamaño igual o inferior a 5 μm que contienen el agente infeccioso. Estas microgotas son partículas suspendidas y transportadas por el aire (bioaerosoles). En la tabla 2 se resumen las principales características de las gotas respiratorias, su tamaño, tipo de transmisión, distancia de contagio y probabilidad de riesgo.

Tabla 2. Tipos de gotas respiratorias y transmisión por gotas grandes respiratorias y por microgotas o bio-aerosoles del SARS-CoV-2

Nombre	Gotas respiratorias grandes (respiratory droplets).	Gotas respiratorias pequeñas, microgotas o Bio-Aerosoles (droplets nuclei).
Tamaño	>5-10 μm	<5 μm
Tipo de transmisión	Por contacto directo con gotas respiratorias grandes (inhalación, mucosas, ojos, nariz, boca y objetos contaminados o fómites).	Vía aérea Por inhalación de Bio Aerosoles que son transportados por el aire y contienen virus.

	(droplet transmission, en inglés).	(airborne transmission, en inglés)
Distancia de transmisión	De 0 a 2 metros	De 0 a varios metros
Probabilidad de riesgo	Elevada	Baja pero plausible y con evidencia creciente. Especialmente en lugares cerrados y con poca o mala ventilación. (ECDC y OMS 2020)

Elaboración. F. Vargas

Las **micro gotas** (bioaerosoles, o droplets nuclei) pueden permanecer en el aire periodos de tiempo suficientes como para tener la capacidad potencial de transmitir patógenos por vía aérea desde su emisión **aunque la probabilidad de esta transmisión es baja.**

Hay que señalar que el diámetro del SARS-CoV-2 es de **0,05 - 0,2 µm (50 - 200 nm)** y 60 - 140 nm, según otras fuentes y el tamaño de las microgotas o aerosoles es menor de **5 µm (5000 nm)**, esto significa que este virus puede ser fácilmente aerotransportado (Figura 3).

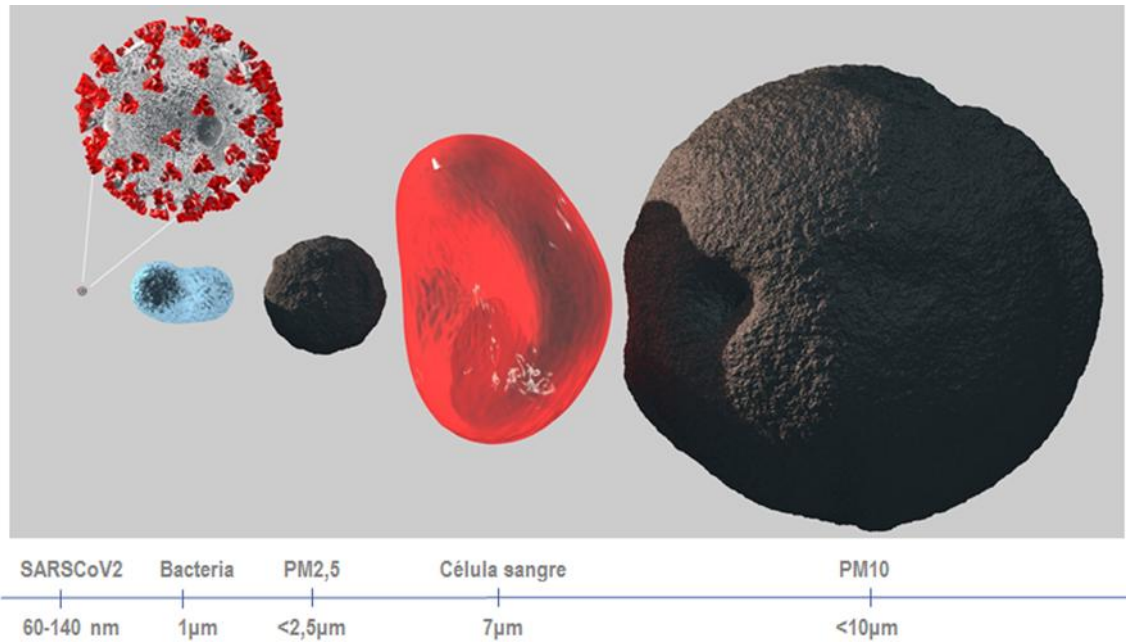


Figura 3. SARS-CoV-2 tamaño comparativo. Fuente: adaptado de Papathanasiou, S. 2020. See the air <https://twitter.com/SFotonium>.

La OMS reconocía, hasta el día 9 de julio de 2020, que el SARS-CoV-2 se podía transmitir mediante la vía de partículas suspendidas y transportadas por el aire pero solo en procesos generadores de aerosol, PGA. Estos PGA son actividades del ámbito sanitario susceptibles de generar aerosoles como es el caso de procesos de entubación endotraqueal, broncoscopia, tratamientos mediante nebulizadores, equipos de ventilación asistida, entre otras.

En un análisis de 75.465 casos de COVID-19 en China, la transmisión aérea por microgotas (airborne transmisión) no fue reportada (12). Por tanto, la OMS no reconocía la **vía aérea por aerosoles** como un mecanismo habitual y frecuente de transmisión para el virus SARS-CoV-2. Esta posición de la OMS se justificaba en la revisión de los resultados de un trabajo científico (5) que sí demostró la vía aérea de transmisión del virus SARS-CoV-2, aunque en condiciones controladas de laboratorio. La OMS rebatía los resultados de este estudio indicando que a pesar de haber encontrado este virus activo en bioaerosoles mantenidos en el aire hasta 3 horas, estos resultados no reflejan un escenario clínico similar al que la OMS considera

como procesos generadores de aerosol, PGA, comentado anteriormente. Varios estudios indican que no encontraron RNA del virus en muestras aéreas de bioaerosoles pero algunos sí lo han encontrado y otros están pendientes de publicación en revistas científicas.

Hay que señalar que se han publicado numerosas evidencias sobre la generación de bioaerosoles por personas, al toser, estornudar, hablar y respirar y los resultados de estos estudios han sido publicados a lo largo de los últimos años en numerosos trabajos de investigación (13-19). En la comunidad científica se reconoce que la detección de muestras de RNA del virus en muestras de bioaerosoles basadas en ensayos PCR no son indicativas de que el virus sea transmisible por este medio. En esta línea, la OMS espera analizar estudios que demuestren la existencia del virus en muestras de bioaerosoles tomadas en habitaciones de pacientes donde no se producen procesos generadores de aerosol, PGA.

En su última publicación sobre los modos de transmisión la OMS (1) ha actualizado su opinión sobre la transmisión del SARS-CoV-2 por la vía aérea (airborne transmisión) que define como la propagación de un agente infeccioso causada por la diseminación de aerosoles o microgotas (droplet nuclei) que permanecen infecciosas mientras están suspendidas en el aire durante largos periodos de tiempo y recorren ciertas distancias superiores a 2 metros. La OMS después de evaluar las últimas evidencias ha modificado ligeramente, de forma muy prudente, su posición sobre la transmisión por aerosoles en lugares con una ventilación deficiente. Según este organismo se necesitan con urgencia más estudios de elevada calidad metodológica para determinar la importancia relativa de cada vía de transmisión, en concreto los siguientes:

- El papel de la vía aérea (airborne transmisión) en la transmisión del virus en ausencia de procedimientos (de atención médica especializada) de generación de aerosoles.
- La dosis necesaria para que se produzca la infección, los lugares y los factores de riesgo para que se produzcan las superpropagaciones y el

alcance o grado de la transmisión de asintomáticos y presintomáticos.

En sus recomendaciones sobre **cómo prevenir la transmisión de SARS-CoV-2** se señala la necesidad de tomar precauciones para evitar la vía aérea cuando se generen aerosoles. Además, recomienda evitar los contactos estrechos, lugares abarrotados, espacios cerrados y confinados con una ventilación deficiente, usar la mascarilla para proteger a las otras personas y asegurar una buena ventilación mediante aire exterior en todos los lugares cerrados junto a una apropiada limpieza y desinfección.

Otras organizaciones internacionales como el Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (20) y el ECDC (21) también recomiendan medidas para la prevención del contagio del virus SARS-CoV-2 por medio de la vía aérea cuando se realicen actividades clínicas que sean susceptibles de generar aerosoles, PGA.

Según el CCAES en condiciones experimentales, la viabilidad de SARS-CoV-2 es de tres horas en aerosoles, con una semivida media de 1,1 horas (IC 95% 0,64-2,64). Estos resultados son similares a los obtenidos con el SARS-CoV-1 (5). Según este estudio la transmisión por aerosoles y fómites es plausible ya que el virus permanece viable durante horas y en superficies durante días.

Del mismo modo, se ha podido detectar el virus en algunas muestras de aire en dos hospitales de Wuhan, a diferentes concentraciones. Si bien la mayoría de las muestras fueron negativas o el virus se detectó en concentraciones muy bajas (menos de 3 copias/m³) en algunos lugares se detectó a mayor concentración: en los baños de pacientes (19 copias/m³) y en las habitaciones designadas para retirar el EPI de los sanitarios (18-42 copias/m³).

Una publicación reciente (22) ha observado la persistencia, la eficiencia dinámica del SARS-CoV-2 y su capacidad para mantenerse infectivo en los aerosoles. Las personas infectadas con SARS-CoV-2 tienen la capacidad de producir aerosoles víricos que pueden permanecer infecciosos hasta **16 h**

después de su emisión, ser transportados por el aire y contaminar superficies. Los aerosoles con SARS-CoV-2 generados experimentalmente tenían un tamaño de **1-3µm**. El estudio sugiere que el SARS-CoV-2 es especialmente resiliente en aerosoles incluso después de las 12h y, por tanto, la vía de transmisión por microgotas, partículas virales suspendidas en el aire, puede ser una vía más importante de lo que se creía hasta ahora.

Puede afirmarse que el SARS-CoV-2 es viable como un patógeno aerógeno. Una persona genera aerosoles de forma continua cuando exhala aire en eventos como respiración, habla, tos o estornudo. La cantidad de aerosoles emitidos aumenta en estos eventos cuanto mayor y más intenso es el flujo de aire exhalado pero también cuando la persona padece enfermedades respiratorias. La transmisión de enfermedades dentro de los espacios cerrados mal ventilados puede llegar a ser 20 veces superior a la transmisión en el exterior (23).

En otra publicación (24) sobre un brote de COVID-19 en un restaurante de Guanzhou (China) que afectó a tres familias, sin relación entre ellas, se estableció que la transmisión se produjo por la transmisión del SARS-CoV-2 de una persona infectada que ocupó una de las tres mesas contiguas que estaban en el mismo patrón de flujo del aire acondicionado. Ni los camareros ni el resto de los 68 comensales que ocupaban otras mesas se contagiaron. Se concluyó que la vía de transmisión más probable fue por aerosoles con virus SARS-Cov-2 debido a una ventilación deficiente.

Las nuevas publicaciones sobre aerosoles indican como más plausible una transmisión del SARS-CoV-2 por esta vía aérea por microgotas transmitidas por el aire ("airborne transmission") a distancias superiores a los dos metros que son inhaladas por personas en ambientes cerrados con poca ventilación. **Sin embargo, la probabilidad de que el virus entre en el sistema de climatización o extracción de aire, no sea retenido, se desarrolle, sea viable y se difunda por los conductos del sistema de ventilación y climatización es altamente improbable por razones físicas y biológicas.**

En el informe conjunto (12) de la OMS y las autoridades chinas se estableció que las vías de transmisión de COVID-19 son las gotas respiratorias y los fómites durante contactos estrechos entre personas con la infección y personas no protegidas. Este informe indica que la transmisión por el aire no ha sido observada y no se cree que sea un importante vector de la transmisión en función de la evidencia disponible. Sin embargo, las evidencias citadas anteriormente inducen a la adopción de medidas preventivas que eviten la inhalación de aerosoles, especialmente en lugares concurridos y mal ventilados o con flujos de aire recirculante, que no cuentan con un sistema de climatización bien diseñado y con aire filtrado.

La rápida propagación internacional de SARS-CoV-2 sugiere que el uso de límites de tamaño de gota arbitrarios puede no reflejar con precisión lo que realmente ocurre con las emisiones respiratorias, contribuyendo a la ineficacia de algunos procedimientos utilizados para limitar la propagación de enfermedades respiratorias.

Hay que adoptar medidas preventivas en centros sanitarios y en ambientes interiores cerrados donde por las condiciones de ocupación y ventilación se produzca una generación importante de aerosoles que pueden propiciar la transmisión del virus. Entre estas medidas se encuentran:

1. Evitar ambientes interiores mal ventilados y con alta ocupación.
2. Reducir el tiempo que se pasa en este tipo de espacios, ya que a mayor tiempo de permanencia, mayor riesgo de contagio.
3. Uso de equipos de protección individual, como mascarillas.
4. Mantenimiento de la distancia de seguridad
5. Adecuación de los sistemas de climatización y ventilación que pueden contribuir, en particular cuando integran renovación de aire, a reducir la concentración del virus en el aire interior, ayudando, por tanto, a disminuir el riesgo de transmisión aérea.

En la figura 4 se resume la transmisión por aerosoles del SARS-CoV-2.

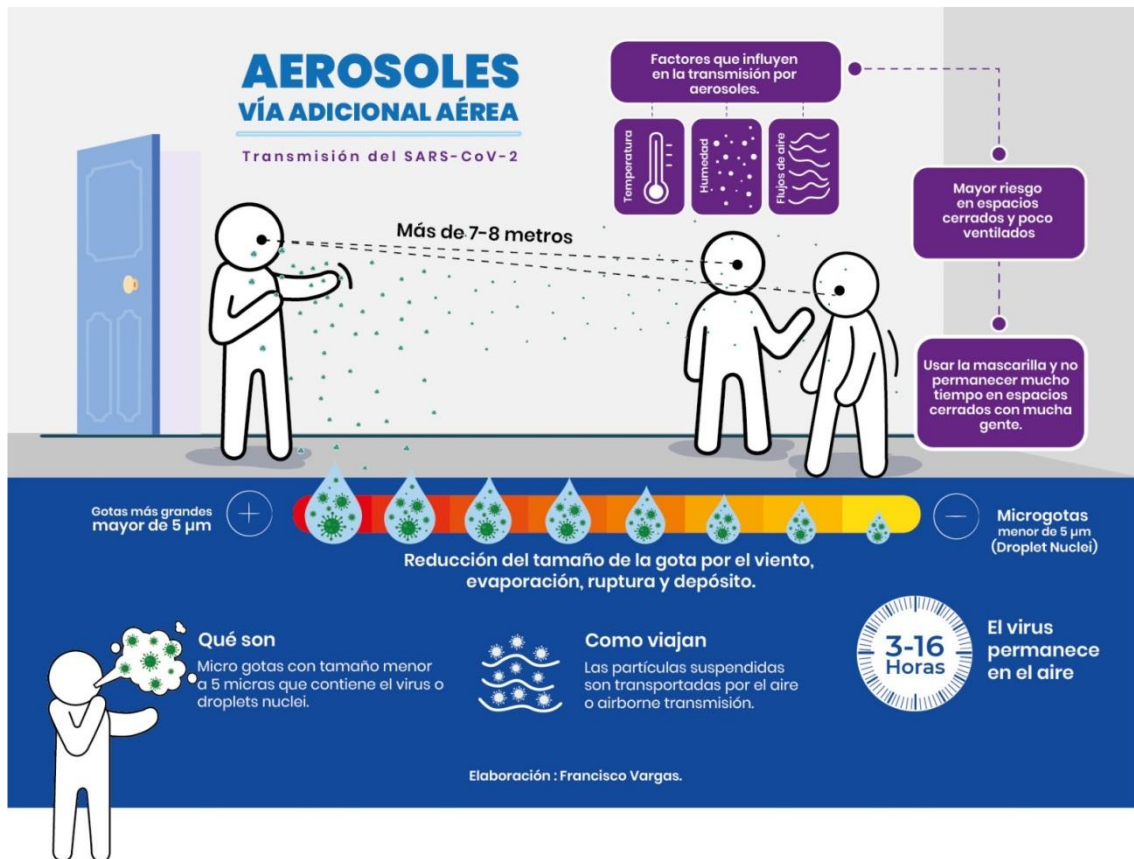


Figura 4. Aerosoles y transmisión del SARS-CoV-2.

Si adoptamos el principio de precaución, básico en situaciones de pandemia y analizando los trabajos científicos publicados, existen suficientes argumentos científicos para **considerar plausible la transmisión del virus mediante esta vía aérea**. Aunque todas las vías de transmisión del SARS-CoV-2 se producen de forma paralela y simultánea sin que se pueda afirmar con exactitud cuál de ellas es la más relevante.

En la actual situación de la pandemia hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Existen evidencias científicas probadas de que una vez exhaladas las **gotas grandes de tamaño entre 5 y 10 µm** (droplets) por una persona, el líquido comienza a evaporarse (Figura 2) y se convierten en gotas más pequeñas, las **gotas de tamaño inferior o igual a 5 µm** (núcleos de gota o droplet nuclei). De esta forma, el periodo de permanencia de estos núcleos de gota en el aire, antes de depositarse, puede extenderse durante periodos de tiempo amplios

- (19). Por tanto, tienen capacidad para vehicularse en flujos de aire y recorrer distancias significativas desde el punto de emisión.
- El virus SARS-CoV-1, predecesor al SARS-CoV-2, se transmitió mediante la **vía aérea**. Este mecanismo de transmisión fue demostrado en varios artículos científicos. Estos trabajos analizaron, a posteriori de esa pandemia, las rutas preferentes de transmisión en los brotes que tuvieron lugar en el Hospital Prince of Wales de Hong Kong (25, 26 y 27), así como en instalaciones hospitalarias en Toronto, Canadá (28) y en cabinas de aviones (29). Estos estudios demostraron que la vía aérea fue la principal vía de transmisión en todos estos casos que se corresponden con ambientes interiores climatizados.
 - La vía aérea ha sido demostrada y aceptada en el caso de otros virus como es el caso de norovirus (Norwalk), en el caso de brotes ocurridos en escuelas infantiles (30) y en el caso del virus de la influenza A/H5N1 (31)
 - Considerando las similitudes entre los virus SARS-CoV-1 y SARS-CoV-2, es bastante probable que este último se propague por el aire mediante la vía aérea, teoría en la que están de acuerdo expertos en la dinámica de flujos de bioaerosoles y flujos de aire en el interior de los edificios (32,33, 34).
 - En un estudio publicado sobre el brote de SARS-CoV-2 en el buque de pasajeros Diamond Princess (35) se estableció que la ruta de contagio principal fue la de contacto directo de persona a persona. Sin embargo, en el mismo estudio se indica que no se descartan otras rutas como la **vía aérea** para explicar totalmente dicho brote.
 - Se ha demostrado que el número básico de reproducción, R_0 , del virus SARS-CoV-2, en ambientes interiores puede ser muy alto (36 y 37). Estas evidencias conducen a muchos científicos a sospechar que la **vía aérea** puede ser uno de los factores que explique este comportamiento. También podría explicar las elevadas tasas de contagio en ambientes interiores donde existen personas sin mascarillas o con mascarillas inadecuadas.

- La transmisión del virus SARS-CoV-2 mediante bioaerosoles ha sido publicada recientemente en la revista NATURE. A partir del análisis de 35 muestras de bioaerosoles recogidas en áreas médicas y de pacientes de los hospitales de Wuhan y Fangcang en China (38) durante la actual pandemia (Figura 5). En el estudio se ha demostrado la existencia del RNA del virus SARS-CoV-2 en bioaerosoles con tamaños aerodinámicos inferiores a **5 μm** , correspondientes por tanto al rango de las **microgotas** (núcleo de gota o droplets nuclei), que podría ser una primera evidencia de la **vía aérea** para el virus SARS-CoV-2.

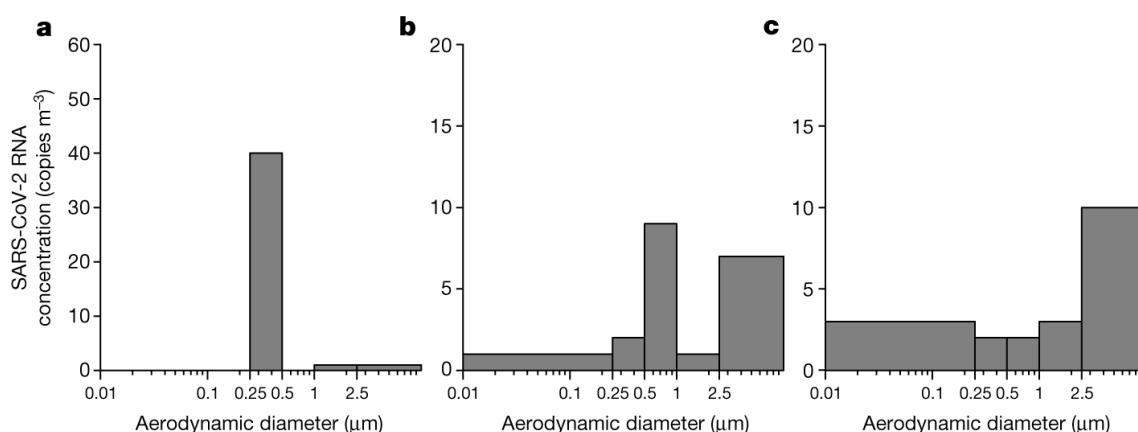


Figura 5. Concentración de RNA del virus SARS-CoV-2 en bioaerosoles de distintos diámetros aerodinámicos en distintas zonas hospitalarias del Hospital de Fangcang en China.

Fuente: Liu, Y.; Ning, Z.; Chen, Y.; et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. Nature (2020). [DOI:10.1038/s41586-020-2271-3](https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3)

Parece evidente, según sugiere la bibliografía, que la principal vía de transmisión del virus SARS-CoV-2 es por el contacto con personas infectadas en ambientes interiores. La infección depende de ruta de exposición (vía de entrada), de la cantidad de virus inoculada, la duración de la exposición y las defensas del huésped.

Por último, hay que señalar que cuando estamos en ambientes o espacios abiertos es muy improbable el contagio dado que la dilución de los aerosoles exhalados por una persona infectada se produce muy rápidamente en el aire ambiente exterior. Mantener las distancias (2m), el

lavado de manos y el uso de mascarilla o/y pantalla facial cuando no se puede mantener la distancia de seguridad, mantener una buena ventilación interior y la limpieza y desinfección ambiental son las medidas preventivas más efectivas frente al SARS-CoV-2 y otras enfermedades infecciosas con mecanismos de transmisión similares.

Para contribuir a la limpieza e higiene ambiental no hay que escupir ni arrojar material contaminado al suelo (guantes, pañuelos usados, colillas, mascarillas, etc.).

5. Nuevo modelo emisiones respiratorias. Evidencias sobre la transmisión aérea por aerosoles

La clasificación de las gotas respiratorias en función de su tamaño ha determinado las vías de transmisión de las enfermedades respiratorias aceptadas por la OMS o los CDC y las medidas de prevención correspondientes. Para mejorar la eficacia de las medidas preventivas de la COVID-19 hay que ampliar el conocimiento de todas vías de transmisión de la infección (gotas respiratorias, fómites y aerosoles), su grado de participación y las circunstancias en las que se produce. Los estudios sobre dinámica de fluidos aportan evidencias sobre los nuevos modelos de transmisión de enfermedades respiratorias independientemente del tamaño de las gotas.

Un trabajo reciente (39) ha demostrado que las exhalaciones, los estornudos y la tos no solo consisten en gotitas muco salivares que siguen trayectorias de emisión semi balística de corto alcance, sino que están formadas, principalmente, por una nube de gas turbulento multifásico (una bocanada) que arrastra el aire ambiental, atrapa y transporta diversos tipos de tamaños de gotas (Figura 6).

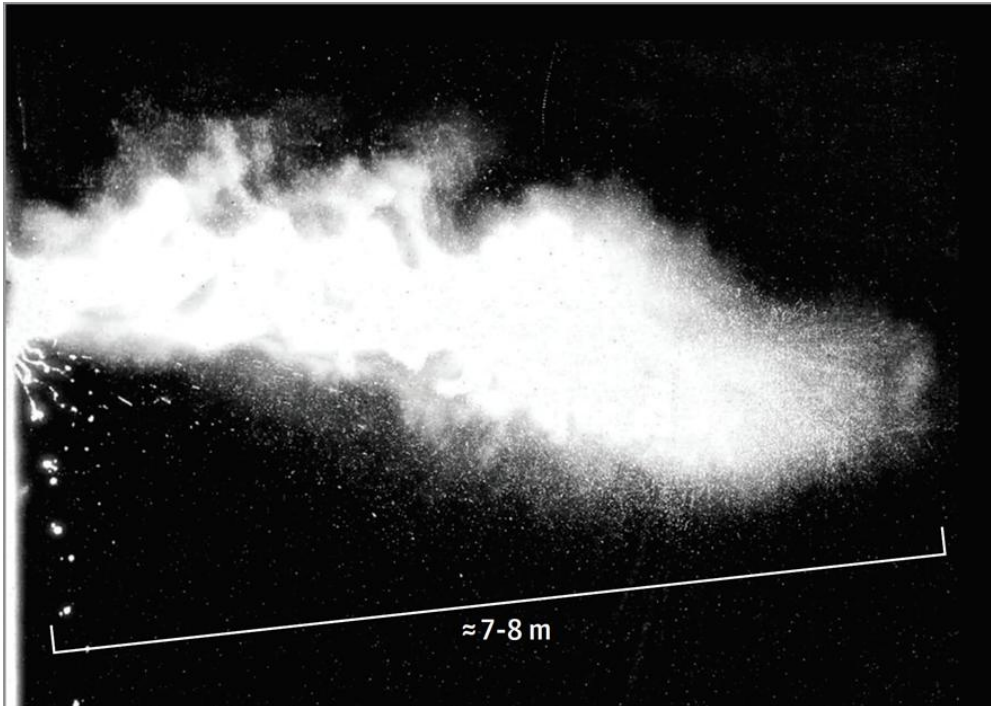


Figura 6. Imagen de la nube gaseosa turbulenta multifásica de un estornudo humano.

Fuente: Bourouiba, L. Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. *Journal of American Medical Association* 2020, 323(18):1837-1838. doi:10.1001/jama.2020.4756.

Las gotas que se asientan a lo largo de la trayectoria pueden contaminar las superficies, mientras que el resto permanece atrapado y agrupado en la nube en movimiento. Finalmente, la nube y su carga útil de gotas pierden impulso y coherencia, las gotas restantes dentro de la nube se evaporan, produciendo residuos o núcleos de gota que pueden permanecer suspendidos en el aire durante horas, siguiendo los patrones de flujo de aire impuestos por la ventilación o los sistemas de control climático.

La evaporación de las gotitas cargadas de patógenos en fluidos biológicos complejos es poco conocida. El grado y la velocidad de evaporación dependen en gran medida de la temperatura ambiente y las condiciones de humedad, pero también de la dinámica interna de la nube turbulenta junto con la composición del líquido exhalado por el paciente.

Los nuevos conocimientos sobre la dinámica de emisiones respiratorias indican que las gotas respiratorias pueden alcanzar, en condiciones específicas, 7-8 metros. Esta evidencia, experimental, tiene importantes implicaciones para mejorar el diseño de las máscaras de protección respiratoria, las recomendaciones de distanciamiento social, las estrategias de prevención en las instalaciones de climatización y otras recomendaciones de salud pública. Según esta autora el modelo actual para entender las vías de transmisión de las enfermedades infecciosas respiratorias necesita ser reinterpretado a la luz de los nuevos conocimientos sobre la aerosolización de las partículas respiratorias y el transporte de las mismas a través del aire.

Un estudio basado en la metodología de dinámica de fluidos computacional (40) ha observado que la distancia de 2 m es aproximadamente segura cuando no hay viento (a 0 km/h, 20° C, una humedad relativa del 50 % y una temperatura de la superficie del suelo de 15 ° C. Cuando aumenta la velocidad el viento disminuye con más rapidez el diámetro de las gotas respiratorias ya que se acelera la tasa de cizallamiento del viento y la evaporación. En la figura 7 se muestra la evolución de las gotas de saliva (de tamaño de 10 μm -120 μm) teniendo en cuenta su dispersión, evaporación, ruptura y depósito. A los 5 segundos la pequeña nube de saliva generada al toser cae por debajo de la cintura, reduciendo la posibilidad de contagio directo con alguna persona que esté situada cerca.

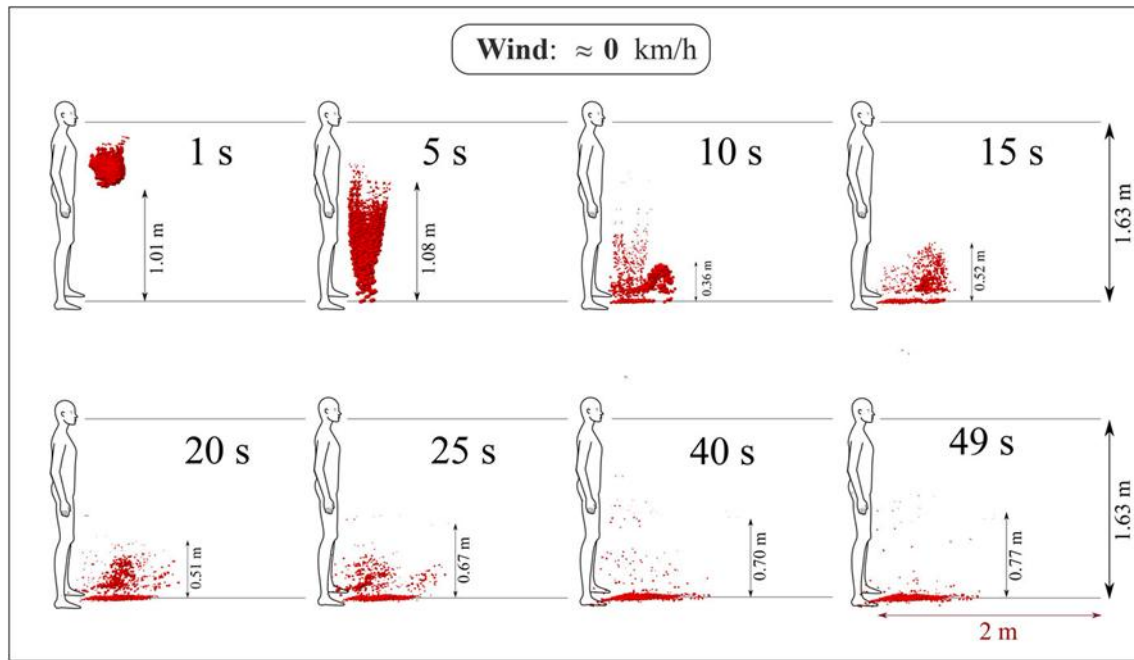


Figura 7. Las partículas de saliva emitidas en la tos humana no recorren más de 2 metros cuando la velocidad del aire es 0. En las condiciones ambientales siguientes: temperatura (20° C), presión (1atm), humedad relativa (50%) y una temperatura de la superficie del suelo de 15° C y una temperatura de la boca de 34° C.

Fuente: Dbouk, T.; Drikakis, D. On coughing and airborne droplet transmission to humans. *Physics of Fluids* 2020:32, 053310. DOI: 10.1063/5.0011960 Copyright © 2020 Author(s)

Sin embargo, las partículas de saliva pueden viajar por el aire a considerables distancias inesperadas dependiendo de las condiciones ambientales. En la Figura 8 se muestra el efecto de la velocidad del viento, de izquierda a derecha, sobre las partículas de saliva y su transporte, dispersión y evaporación a 4 km/h y 15 km/h.

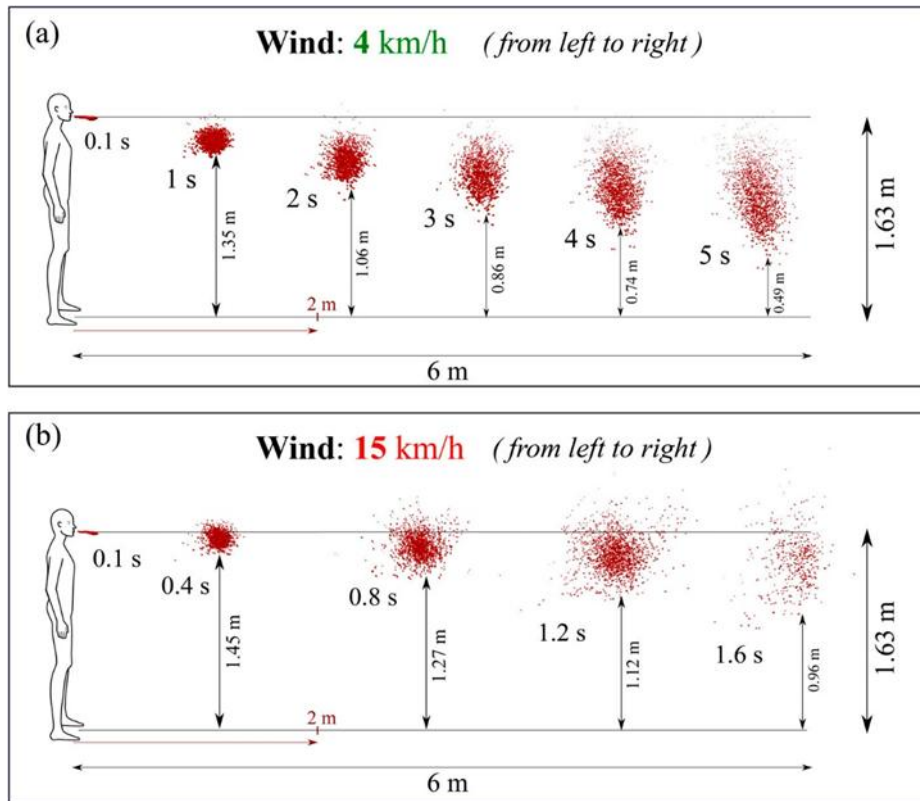


Figura 8. Las partículas de saliva emitidas en la tos humana pueden recorrer más de 2 metros cuando la velocidad del aire es de 4 km/h(a) o 15 km/h (b). En las condiciones ambientales siguientes: temperatura (20° C), presión (1atm), humedad relativa (50%), una temperatura de la superficie del suelo de 15° C y una temperatura de la boca de 34° C.

Fuente: Published in: Talib Dbouk; Dimitris Drikakis; Physics of Fluids 32, 053310 (2020) (igual que arriba) DOI: 10.1063/5.0011960. Copyright © 2020 Author(s)

La información que aportan estos estudios sobre la fluidodinámica de las gotas respiratorias puede mejorar la eficacia y efectividad de las recomendaciones de prevención de la transmisión del SARS-CoV-2.

Para comprender mejor la participación de la vía aérea en el modo de transmisión el SARS-CoV-2 es necesario revisar los estudios experimentales sobre aerosoles y los estudios retrospectivos de los brotes de COVID-19 en los que se ha señalado la implicación de esta vía.

Un estudio numérico basado en la metodología de dinámica de fluidos computacional de fluidos multifásicos y la transferencia de calor ha

investigado el transporte, la dispersión y la evaporación de las partículas de saliva que se emiten en la tos humana. El conocimiento del transporte de estas partículas de saliva explica la diseminación del coronavirus y determina la aplicación de directrices para el distanciamiento social, el uso de mascarillas, las prácticas diarias de conducta social en los ambientes públicos y privados. Se sabe que el virus de la gripe (41) puede detectarse en pequeñas microgotas de saliva ($<5 \mu\text{m}$) emitidas al hablar o respirar. Aunque los mecanismos de transmisión están sometidos a debate está ampliamente aceptado que los aerosoles o las gotas respiratorias son el principal mecanismo de transmisión de la gripe A en humanos. No está tan claro si el material genético que se puede detectar en algunos aerosoles son fragmentos de virus inactivos o virus completos capaces de infectar las células humanas. Las tecnologías experimentales de muestreo del aire pueden detectar la presencia de virus y determinar su distribución en los aerosoles pero tienen muchas limitaciones (42). Las gotas respiratorias interactúan con el flujo de aire ambiental, se convierten en gotas más pequeñas o aerosoles (droplet nuclei) durante su dispersión y se ven afectadas por la evaporación y turbulencia que condiciona su dispersión.

Estudios previos han sugerido que el tipo de distribución y la distancia recorrida por los aerosoles pueden influir significativamente en el riesgo de infección en ambientes interiores. Sin embargo, se sabe que las partículas $<100 \mu\text{m}$ se desecan después de caer al suelo a unos 2 metros de distancia.

A la luz de estos estudios y del conocimiento científico existente, debería admitirse la posibilidad de que el virus SARS-CoV-2 se propague por vía aérea mediante aerosoles o núcleos de gota. Es cierto, que hasta la fecha no ha sido demostrado de una forma irrevocable pero es igual de cierto que en las anteriores pandemias provocadas por virus similares, la vía aérea fue demostrada científicamente, aunque a posteriori.

Un estudio reciente ha revisado las evidencias científicas sobre las vías de transmisión del virus SARS-CoV-2 y el papel de la transmisión aérea (43). Según este trabajo la inhalación de pequeñas gotas en el aire es probable como una tercera vía de infección, además de las vías de transmisión más

ampliamente reconocidas a través de gotas respiratorias más grandes y el contacto directo con personas infectadas o superficies contaminadas (fómites). Si bien persisten las incertidumbres con respecto a las contribuciones relativas de las diferentes vías de transmisión se concluye que la evidencia existente es lo suficientemente fuerte como para aplicar controles de ingeniería dirigidos a la transmisión aérea como parte de una estrategia general que limite el riesgo de infección en interiores. Los controles apropiados de ingeniería del edificio incluyen ventilación suficiente y efectiva, posiblemente mejorada por la filtración de partículas y la desinfección del aire, evitando la recirculación de aire y evitando una alta ocupación. A menudo, tales medidas pueden implementarse fácilmente y sin mucho costo, pero deben reconocerse como importantes para contribuir a los objetivos de control de infecciones. Los autores consideran que el uso de controles de ingeniería en edificios públicos, incluidos hospitales, tiendas, oficinas, escuelas, jardines de infancia, bibliotecas, restaurantes, cruceros, ascensores, salas de conferencias o transporte público, en paralelo con la aplicación efectiva de otros controles (incluidos el aislamiento y cuarentena, distanciamiento social e higiene de manos), sería una medida importante adicional a nivel mundial para reducir la probabilidad de transmisión y, por lo tanto, proteger a los trabajadores de la salud, los pacientes y el público en general.

En un informe reciente del CSIC (44) sobre los filtros de aire en diferentes sectores industriales se señala la importancia potencial de la propagación de SARS-CoV-2 por la vía aérea especialmente en ambientes interiores. El mecanismo de transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea en distancias cortas y medias (hasta varios metros) ha de considerarse, sin que se pueda decir que tenga un impacto superior o inferior a otras vías como la del contacto con boca, nariz y ojos. Por tanto, según se concluye en este trabajo **se requieren medidas preventivas para mitigar la transmisión aérea** (tercera vía según este documento) de corto a mediano alcance.

Para adoptar medidas preventivas es esencial comprender dónde y cómo se transmite el SARS-CoV-2. Un estudio realizado en China (45) con datos de

320 municipios, sin incluir la provincia de Hubei, entre el 4 de enero y el 11 de febrero de 2020, identificó todos los brotes que involucraron tres o más casos y revisaron las principales características de los espacios cerrados en los que se informaron los brotes y los problemas ambientales internos asociados. Se identificaron trescientos dieciocho brotes con tres o más casos, que involucraron 1.245 casos confirmados en 120 ciudades.

Los lugares en los que ocurrieron los brotes se dividieron en seis categorías: hogares, transporte, hostelería, entretenimiento, compras y misceláneas. Entre los brotes identificados, 53.8% involucraron tres casos, 26.4% involucraron cuatro casos, y solo 1.6% involucraron diez o más casos. Los brotes en el hogar fueron la categoría dominante (254 de 318 brotes; 79.9%), seguidos por el transporte (108; 34.0%; hay que tener en cuenta que muchos brotes involucraron más de una categoría de lugar). La mayoría de los brotes en el hogar involucraron de tres a cinco casos. Sólo se identificó un brote en un ambiente al aire libre que involucró dos casos.

Los autores concluyeron que todos los brotes identificados de tres o más casos ocurrieron en un ambiente interior, lo que confirma que compartir el espacio interior es un riesgo importante de infección por SARS-CoV-2.

Lavarse las manos y mantener la distancia social son las principales medidas recomendadas por la OMS para evitar contraer COVID-19. Sin embargo, estas medidas no previenen la infección por inhalación de pequeñas gotas exhaladas por una persona infectada que puede recorrer distancias de metros o decenas de metros en el aire y transportar su contenido viral. La ciencia explica los mecanismos de dicho transporte y hay evidencia de que esta puede ser una ruta importante de infección en ambientes interiores. A pesar de este conocimiento ningún país o autoridad considera la propagación de COVID-19 en el aire en sus reglamentos para prevenir la transmisión de infecciones en interiores. Por lo tanto, es extremadamente importante que las autoridades nacionales reconozcan la realidad de que el virus se propaga por el aire (46).

Tras los llamamientos de numerosos científicos y el aumento de brotes de COVID-19 en espacios cerrados en los que están implicados los aerosoles,

el ECDC ha publicado un documento específico (47) sobre los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (CVAC) que se describe a continuación.

ECDC. Sistemas de CVAC en el contexto de COVID-19

El ECDC resume la **evidencia de la transmisión de SARS-CoV-2 en espacios cerrados y el papel desempeñado por los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado** (HVAC, en sus siglas en inglés) Los espacios cerrados (interiores) poco o mal ventilados están asociados con un aumento de la transmisión de enfermedades respiratorias. El principal mecanismo de transmisión de COVID-19 es por gotas respiratorias grandes ($5 \geq \mu\text{m}$). Sin embargo, se está observando un aumento del número de brotes de COVID-19 provocado por aerosoles.

Como se ha establecido los aerosoles son pequeñas gotas $< 5 \mu\text{m}$ que permanecen en el aire durante más tiempo que las gotas respiratorias grandes $\geq 5 \mu\text{m}$. Las partículas de SARS-CoV-2 pueden permanecer en el aire y en materiales de ambientes interiores, la duración de su infectividad depende, entre otros factores, de la humedad y la temperatura ambiental. La investigación de algunos brotes recientes ha revelado que la transmisión de la COVID-19 puede ser particularmente efectiva en espacios cerrados llenos de gente, como centros de trabajo (oficinas, factorías, mataderos,) o durante eventos (iglesias, restaurantes, fiestas, centros deportivos de esquí, centros comerciales, dormitorios de trabajadores, clases de danza, cruceros y autobuses) también existen indicaciones de que la transmisión puede estar asociada con actividades especiales como cantar en un coro, o durante servicios religiosos que se caracterizan por un aumento de la producción de gotas respiratorias grandes (respiratory droplets) al hablar en un tono elevado.

En un estudio de 318 brotes en China, la transmisión de todos los casos se produjo en espacios cerrados excepto en uno. La tasa de ataque de los brotes de SAR-CoV-2 está asociada con la duración del tiempo que la gente pasa en los espacios interiores. En el brote de Washington, en la práctica de

2,5 horas, de un coro de canto, hubo 32 casos confirmados y 20 casos secundarios probables de COVID-19 entre los 61 participantes (85,2%). En un centro de llamadas (call center) de Corea del Sur hubo una tasa de contagio del 43,5% entre 216 empleados en la 9ª planta de ese centro.

El ECDC concluye lo siguiente:

- La transmisión de COVID-19 ocurre habitualmente en espacios cerrados.
- Actualmente no hay evidencia de que la infección por SARS-CoV-2 sea causada por aerosoles infecciosos que se distribuyan por los conductos de los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (CVAC). El riesgo se clasifica como muy bajo.
- Los sistemas de CVAC incluidas las unidades de aire acondicionado que estén sometidos a un adecuado mantenimiento, filtran con seguridad las gotas grandes que contienen SARS-CoV-2. Es posible que los aerosoles con este virus (las pequeñas o droplet nuclei) puedan esparcirse a través del sistema de CVAC dentro de un edificio y en un sistema autónomo de aire acondicionado si el aire es recirculado.
- El flujo de aire cruzado entre personas en la zona respirable puede facilitar la diseminación de gotas emitidas por personas infectadas a distancias más largas en espacios interiores.
- Los sistemas de CVAC pueden tener un papel complementario en la disminución de la transmisión en espacios interiores si se aumenta la tasa de cambio de aire y se aumenta el uso de aire exterior.

A esta iniciativa del ECDC hay que añadir la carta pública de más de 200 científicos en la que hacen un llamamiento a la comunidad médica y las organizaciones sanitarias nacionales e internacionales para reconocer el potencial de la transmisión aérea adicional de la COVID-19 (48). Hay un potencial significativo de exposición a la inhalación de virus transportados

por las gotas respiratorias (microgotas o aerosoles) en distancias cortas o medias (más de varios metros).

Los autores piden a la OMS que actualice las recomendaciones sanitarias y recuerdan que aunque la evidencia sobre esta vía de transmisión es incompleta ocurre lo mismo con la transmisión por gotas grandes y fómites. En su documento reclaman la aplicación de las siguientes medidas preventivas para mitigar esta vía de transmisión aérea (airborne transmission):

- Proporcionar una ventilación suficiente y adecuada de los espacios cerrados interiores (aportando aire fresco externo y minimizar la recirculación de aire) particularmente en edificios públicos, ambientes laborales, escuelas, hospitales y centros de atención a personas mayores.
- Suplementar la ventilación general con sistemas de elevada eficiencia de filtración de aire y el uso de radiación ultravioleta para reducir la transmisión aérea.
- Evitar las aglomeraciones en el transporte y edificios públicos,

Es evidente que este llamamiento junto al posicionamiento del ECDC (47) sobre la transmisión de COVID-19 en espacios cerrados, deberían considerarse para la revisión de las medidas preventivas destinadas a reducir el riesgo de transmisión aérea mediante aerosoles o núcleos de gota.

6. Estrategias de prevención de la vía aérea en instalaciones de climatización

Dado que la vía aérea es plausible y las evidencias más consistentes se deben aplicar distintas estrategias de prevención específicas en el ámbito de las instalaciones de climatización y ventilación. Estas estrategias deber tener en cuenta la posibilidad de que existan bioaerosoles con tamaño igual

o inferior a 5 μm que potencialmente sean portadoras del virus y que puedan vehicularse en el aire durante largos periodos de tiempo.

Con el fin de garantizar y asegurar que no se produce ninguna difusión de partículas víricas se recomiendan las siguientes estrategias, resumidas en la Figura 9.

- Estrategia 1. **Control de fuentes de bioaerosoles.**
 - Reducir las tasas de ocupación en locales.
 - Evitar recirculación de aire en equipos de climatización.
 - Uso de mascarillas en locales cerrados cuando no se pueden aplicar medidas de distancias social.

- Estrategia 2. **Dilución de bioaerosoles.**
 - Aumentar las tasas de ventilación con equipos de ventilación mecánica.
 - Aumentar las tasas de ventilación natural mediante apertura de puertas y/o ventanas.

- Estrategia 3. **Retención de bioaerosoles.**
 - Uso de elementos de filtración con elevada eficacia de filtración en el rango de partículas típico de los núcleos de gota.

- Estrategia 4. **Control del transporte de bioaerosoles.**
 - Revisión del sistema de difusión de aire y de los patrones flujos de aire interiores.
 - Estudio de posición y distancia de las personas en los locales interiores. Evitar los flujos de aire procedentes de otra persona.
 - Reducir velocidad del aire en la zona ocupada. Evitar las corrientes de aire cruzadas entre personas en la zona respirable.

- Estrategia 5. **Inactivación de patógenos en bioaerosoles.**
 - Uso de equipos germicidas de acción física que pueden contribuir a reforzar la higiene del ambiente interior.

- Se deberían establecer dos condiciones para su uso: 1) que existan evidencias científicas de que el sistema es efectivo frente al virus SARS-CoV-2, y 2) que la dosis aplicada y los residuos resultantes de su aplicación no suponga ningún riesgo para las personas.
- Estrategia 6. **Protección personal frente a bioaerosoles.**
 - Uso de EPIs. En particular mascarillas con adecuada capacidad de filtración en el rango de partículas típico de los núcleos de gota para evitar transmisión desde/hacia otras personas.

En la aplicación de estas estrategias debería valorarse la efectividad relativa de unas estrategias en relación a otras. Por ejemplo, en edificios con sistema de ventilación mecánica, un incremento de la tasa de ventilación es una medida adecuada, siempre que no contribuya a aumentar las velocidades del aire en la zona ocupada, ya que podría promover la vía aérea extendiendo la propagación de los núcleos de gota o droplets nuclei a distancias mayores.



Figura 9. Estrategias de prevención y control de aerosoles.

7. Observaciones finales sobre la transmisión por la vía aérea

• Evidencias científicas

- La OMS ha reconocido recientemente (1), con precaución y prudencia cautelosa, la vía aérea de transmisión por aerosoles del SARS-COV-2 en ambientes cerrados y en algunas circunstancias y lugares concretos. Esta posición supone un cambio significativo basado en el análisis de los últimos brotes de COVID-19 y en los llamamientos de

numerosos científicos y especialistas en la transmisión aérea para adoptar medidas preventivas.

- Existen una evidencia científica creciente para considerar como plausible que el virus SARS-CoV-2 se propaga mediante aerosoles con diámetro inferior a 5 micras en ambientes interiores en eventos como hablar, elevar la voz o cantar y no solo al estornudar o toser. Algunos de estos aerosoles pueden ser potencialmente infecciosos en lugares cerrados con poca ventilación o sistemas de climatización deficientes.
- La posibilidad de transmisión del SARS-CoV-2 por medio del aire externo ambiental en espacios abiertos y aireados y sin entrar en contacto con otras personas es bastante improbable, dada la rápida dilución de los aerosoles en el aire exterior.
- Las nuevas evidencias sobre la dinámica de emisiones respiratorias indican que las gotas respiratorias pueden alcanzar hasta 7-8 metros o más. Estas evidencias pueden tener importantes implicaciones sobre las recomendaciones de distanciamiento social, las estrategias de prevención en las instalaciones de climatización y otras recomendaciones de salud pública. Se necesitan más investigaciones para comprobar si estos hallazgos se cumplen en condiciones ambientales normales.
- La estabilidad ambiental del virus SARS-COV-2, en condiciones experimentales en espacios cerrados, oscila según los estudios entre 3 horas y 16 horas en el aire post aerosolización, en condiciones reales es probable que su estabilidad y su infectividad sea diferente.
- Según el ECDC la transmisión de COVID-19 ocurre habitualmente en espacios cerrados interiores. Actualmente no hay evidencia de que la infección por SARS-CoV-2 sea causada por aerosoles infecciosos que se distribuyan por los conductos de los sistemas de Calefacción,

Ventilación y Aire Acondicionado (CVAC). El riesgo de que esto suceda se clasifica como muy bajo.

· Recomendaciones de organizaciones nacionales e internacionales sobre sistemas de climatización

- Varias organizaciones han elaborado directrices y guías para la prevención de la transmisión del SARS-CoV-2. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA) (49) propone, especialmente en áreas de "puntos calientes", usar el principio "tan bajo como sea razonablemente posible" (ALARA, en sus siglas en inglés) y tomar un conjunto de medidas que ayuden a controlar también la vía aérea de transmisión en los edificios. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) (50) ha publicado una guía de recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación para edificios de uso no sanitario para la prevención del contagio.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (51 a y b), Federación de Asociaciones de Calidad Ambiental de Interiores, de España y Andorra (FEDECAI) (52) y Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización (AFEC) (53) también han publicado sus propias recomendaciones operativas. Estas recomendaciones son complementarias a las medidas de higiene estándar recomendadas por la OMS (54) que formula una única recomendación para evitar el contagio en los centros de trabajo por el aire: establece que se abran las ventanas y puertas donde sea posible para asegurarse que los lugares de trabajo estén bien ventilados.
- Dado que la vía aérea es plausible se deberían aplicar estrategias de prevención y control de aerosoles. Estas medidas están más detalladas en el documento técnico sobre Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales para la prevención de la propagación

del SARS-Cov-2 promovidas y coordinadas por el Ministerio de Sanidad y las recomendadas por el ECDC.

- Los virus unidos a partículas pequeñas no se depositan fácilmente en los conductos de ventilación, de hacerlo su viabilidad y supervivencia será muy reducida. Por tanto, no se necesitan cambios en los procedimientos normales de limpieza y mantenimiento de conductos.
- Es muy importante aumentar el suministro de aire fresco y evitar la recirculación de aire en los sistemas de ventilación, durante los episodios de COVID-19, en todos los espacios cerrados y especialmente en los centros sanitarios.

Se aconseja suministrar tanto aire exterior como sea razonablemente posible. Siendo clave la cantidad de aire exterior suministrado por persona.

Las instalaciones de climatización, en particular cuando integran renovación de aire, pueden contribuir a reducir la concentración del virus SARS-CoV-2 en el aire interior, ayudando a disminuir el riesgo de transmisión.

- Las unidades de fan coil que utilizan la recirculación de aire deben funcionar a la mínima velocidad y evitar pararse para evitar la resuspensión de partículas de virus a nivel de la habitación (especialmente cuando las habitaciones son utilizadas normalmente por más de un ocupante); los filtros de estas unidades no retienen partículas pequeñas ni virus.

• **Medidas de protección personal**

- Hay que mantenerse alejado de espacios abarrotados y mal ventilados. En edificios sin sistemas de ventilación mecánica, se recomienda el uso activo de ventanas operables (mucho más de lo normal, incluso cuando esto causa cierta incomodidad térmica). La ventilación de ventanas es la única forma de aumentar las

renovaciones de aire. Se pueden abrir ventanas durante 15 minutos más o menos al entrar en la estancia (especialmente cuando la estancia estaba ocupada por otras personas).

- Por un principio de precaución se recomienda el uso de mascarillas higiénicas en espacio cerrados dónde no es posible mantener las distancias y cuando el sistema de ventilación es deficiente.
- Mantener como mínimo 2 metros de distancia al relacionarse con otras personas, reducir aforos en establecimientos, vigilar los flujos de aire en espacios cerrados, evitar permanecer en sitios cerrados con muchas personas, garantizar una buena ventilación, lavarse las manos con jabón o desinfectantes, usar mascarilla, limpiar y desinfectar las superficies con los biocidas virucidas autorizados por la Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación del Ministerio de Sanidad son las medidas más efectivas para prevenir el contagio.
- Para tratar de reducir en lo posible los contagios entre las personas, se deberán seguir las pautas indicadas por las autoridades sanitarias, Ministerio de Sanidad (55 a, b y c) y -la OMS (1).

• **Nuevas aportaciones científicas**

- Es necesario ampliar el conocimiento científico y la investigación sobre los mecanismos de generación y transmisión del virus SARS-CoV-2, y en concreto:
 - Mejorar la colaboración entre virólogos, epidemiólogos, expertos en bioaerosoles y expertos en sistemas de climatización.
 - Desarrollar nuevas técnicas de muestreo de bioaerosoles más eficientes que las existentes en la actualidad (41).

Dada la rapidez con la que se producen los avances del conocimiento científico en este campo, es posible que en próximas fechas se publiquen nuevos estudios que permitan reducir la incertidumbre actual para reducir los riesgos derivados de la propagación del virus SARS-CoV-2 mediante aerosoles.

8. Referencias

1. WHO (**World Health Organization**). 2020. **Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions** Scientific Brief 9 July 2020. COVID-19: Infection prevention and control / WASH[10 de junio 2020] Disponible en:

<https://www.who.int/publications/i/item/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>

2. Ong, S.W.; Tan, Y.K.; Chia, P.Y. et al. 2020. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. JAMA 323(16):1610-1612. DOI:10.1001/jama.2020.3227.

3. Hung, L.S. 2003. The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned? J R Soc Med [Internet]. 96(8):374-378. [DOI: 10.1258/jrsm.96.8.374](https://doi.org/10.1258/jrsm.96.8.374)

4. To, K.K.W.; Tsang, O.T.Y.; Chik-Yan Yip, C.; et al. 2020. Consistent detection of 2019 novel coronavirus in saliva. Clin Infect Dis ciaa149. DOI: 10.1093/cid/ciaa149.

5. Van Doremalen, N. Bushmaker, T.; Morris, D.H. et al. 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. N Engl J Med 382:1564-1567DOI: 10.1056/NEJMc2004973.

6. Chin, A.W.H; Chu, J.T.S.; Perera, M.R.A.; et al. 2020. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions The Lancet Microbe 1(1): e10. DOI: /10.1016/ S2666-5247(20)30003-3.

7. Liu, Y.; Ning, Z.; Chen, Y.; et al. 2020. Aerodynamic Characteristics and RNA Concentration of SARS-CoV-2 Aerosol in Wuhan Hospitals during COVID-19 Outbreak. bioRxiv. [25 mayo 2020] Disponible en: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.03.08.982637v1>.
8. Cheng, V.C.C.; Wong, S.C.; Chen, J.H.K.; et al. 2020. Escalating infection control response to the rapidly evolving epidemiology of the Coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2 in Hong Kong. *Infect Control Hosp Epidemiol* 41(5):493-498. DOI: 10.1017/ice.2020.58.
9. Booth, T.F.; Kournikakis, B.; Bastien, N.; et al. 2005. Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. *J Infect Dis.*;191(9):1472-1477. DOI: 10.1086/429634.
10. Yu, I.T.S.; Wong, T.W. Chiu, Y.L.; et al.. 2005. Temporal-spatial analysis of severe acute respiratory syndrome among hospital inpatients. *Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am* 40(9):1237-43. DOI: 10.1086/428735.
11. ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control). 2020. Disinfection of environments in healthcare and nonhealthcare settings potentially contaminated with SARS-CoV2. [20 mayo 2020] Disponible en: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/disinfection-environments-covid-19>
12. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) 16-24 February 2020. Geneva: World Health Organization; 2020 (available at <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>).
13. Asadi, S.; Wexler, A.S.; Cappa, C.D. et al. 2019. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep* 9: 2348. [DOI: 10.1038/s41598-019-38808-z](https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z).
14. Z. Ai, T.; Melikov, A.K. 2018. Airborne spread of expiratory droplet nuclei between the occupants of indoor environments: A review. *Indoor Air.*;28(4):500–524. DOI: 10.1111/ina.12465.

15. Yan, J.; Grantham, M.; Pantelic, J. et al. 2018. Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(5):1081-1086; DOI: 10.1073/pnas.1716561115.
16. Milton, D.K.; Fabian, M.P.; Cowling, B.J.; et al. 2013. Influenza Virus Aerosols in Human Exhaled Breath: Particle Size, Culturability, and Effect of Surgical Masks. *PLoS Pathog* 9(3): e1003205. DOI:10.1371/journal.ppat.1003205.
17. Johnson, G.R.; Morawska, L.; Ristovski, Z.D.; et al. 2011. Modality of human expired aerosol size distributions. *Journal of Aerosol Science* 42(12):839-851. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2011.07.009.
18. Gupta, J.K.; Lin, Ch.H.; Chen, Q. 2010. Characterizing exhaled airflow from breathing and talking. *Indoor Air* 20(1):31-39. DOI:10.1111/j.1600-0668.2009.00623.x
19. Morawska, L.; Johnson, G.; Ristovski, Z.; et al., 2009. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J. Aerosol Sci.* 40(3): 256-269. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2008.11.002.
20. CDC (Centers for Disease Control and Prevention). Interim Infection Prevention and Control Recommendations for Patients with Suspected or Confirmed Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in Healthcare Settings. 2020. [15 mayo 2020] Disponible en: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/infection-control/control-recommendations.html>
21. ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control). 2020. Infection prevention and control for COVID-19 in healthcare settings. [14 de mayo 2020] Disponible en: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/infection-prevention-and-control-covid-19-healthcare-settings>

22. Fears, A.C., Klimstra, W.B., Duprex, P. et al. 2020. Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions. DOI: 10.1101/2020.04.13.20063784.
23. Nishiura, H.; Oshitani, H.; Kobayashi, T.; et al. 2020. Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). MEDRxIV (The Preprint Server for Health Sciences). DOI: 10.1101/2020.02.28.20029272
24. Li, Y.; Qian, H.; Hang, J.; et al. 2020. Aerosol transmission of SARS-CoV-2: Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. 2020. MEDRxIV (The Preprint Server for Health Sciences). DOI: [10.1101/2020.04.16.20067728](https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728)
25. Li, Y.; Huang, X.; Yu, I.; et al. 2005. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. *Indoor Air* 15(2):83–95. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00317.x.
26. Xiao, S.; Li, Y.; Wong, T.W.; Hui, D.S. 2017. Role of fomites in SARS transmission during the largest hospital outbreak in Hong Kong. *PLoS ONE* 12(7): e0181558. DOI: [10.1371/journal.pone.0181558](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181558)
27. Yu, I.T.; Wong, T.W.; Chiu, Y.L.; et al. 2005. Temporal-spatial analysis of severe acute respiratory syndrome among hospital inpatients. *Clin. Infect. Dis.* 40(9):1237–1243. DOI: 10.1086/428735.
28. Booth, T.F.; Kournikakis, B.; Bastien, N.; et al. 2005. Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. *J. Infect. Dis.* 191(9):1472–1477. DOI: 10.1086/429634.
29. Olsen, S.J.; Chang, H.L.; Cheung, T.Y.Y. et al., 2003. Transmission of the severe acute respiratory syndrome on aircraft. *N. Engl. J. Med.* 349, 2416–2422. DOI: 10.1056/NEJMoa031349.

30. Marks, P.; Vipond, I.; Regan, F.; et al. 2003. A school outbreak of Norwalk-like virus: evidence for airborne transmission. *Epidemiol. Infect.* 131(1):727-736. DOI: 10.1017/s0950268803008689.
31. Herfst, S.; Schrauwen, E.J.; Linster, M.; et al., 2012. Airborne transmission of influenza A/H5N1 virus between ferrets. *Science* [336\(6088\):1534-1541](https://doi.org/10.1126/science.1213362). DOI:10.1126/science.1213362.
32. Fineberg, H.V. 2020. Rapid Expert Consultation on the Possibility of Bioaerosol Spread of SARSCoV-2 for the COVID-19 Pandemic. The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. [18 de mayo 2020] Disponible en: <https://www.nap.edu/read/25769/chapter/1>
33. Lewis, D. 2020. Is the coronavirus airborne? Experts can't agree. *Nature News*. [18 de mayo 2020] Disponible en: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00974-w>
34. Han, Q.; Lin, Q.; Ni, Z.; You, L. 2020. Uncertainties about the transmission routes of 2019 novel coronavirus. *Influenza Other Respi Viruses* 01-2 DOI:10.1111/irv.12735.
35. Zhang, S.; Diao, M.Y.; Yu, W.; et al. 2020. Estimation of the reproductive number of novel coronavirus (COVID-19) and the probable outbreak size on the Diamond Princess cruise ship: A data-driven analysis. *Int J Infect Dis [Internet]* 93:201-204. DOI: 10.1016/j.ijid.2020.02.033.
36. Liu Y.; Gayle, A.A.; Wilder-Smith, A.; Rocklöv, J. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *J Travel Med.* 2020:1-4.
37. Mizumoto, K.; Chowell, G. 2020. Transmission potential of the novel coronavirus (COVID-19) onboard the diamond Princess Cruises Ship, 2020. *Infect Dis Model [Internet]* 5:264-270. DOI: .
38. Liu, Y.; Ning, Z.; Chen, Y.; et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature* (2020). [DOI:10.1038/s41586-020-2271-3](https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3).

39. Bourouiba, L. 2020. Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. *JAMA* 323(18):1837–1838. DOI:10.1001/jama.2020.4756
40. [Dbouk](#) , T.; [Drikakis, D.](#) 2020. On coughing and airborne droplet transmission to humans. *Physics of Fluids* **32**, 053310. DOI:[10.1063/5.0011960](#)
41. Yan, J.; Grantham, M.; Pantelic. J.; et al. 2018. Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community. *PNAS* 115(5):1081-1086. DOI: [10.1073/pnas.1716561115](#).
42. Pan, M.; Eiguren-Fernandez, A.; Hsieh, H.; et al. 2016. Efficient collection of viable virus aerosol through laminar-flow, water-based condensational particle growth. *Journal of Applied Microbiology* 120(3): 805–15. DOI:10.1111/jam.13051.
43. Morawska, L.; Tang, J.W.; Bahnfleth, W.; et al. 2020. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?.2020. *Environment International* 105832. DOI:[10.1016/j.envint.2020.105832](#).
44. Querol, X.; Minguillón, M.C; Moreno, T.; et al. 2020. Informe sobre filtros de aire en diferentes sectores industriales y posibilidad de eliminación del virus SARS-CoV-2. CSIC. [20 de mayo 2020] Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/210764>
45. Qian, H.; Miao, Te.; LIU, L.; et al. Indoor transmission of SARS-CoV-2. MEDRxIV (The Preprint Server for Health Sciences). DOI: 10.1101/2020.04.04.20053058
46. [Morawska,L](#), Cao, J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ Int.* 2020 Jun; 139: 105730.Published online 2020 Apr 10.doi:[10.1016/j.envint.2020.105730](#)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7151430/>

47. Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19. Technical report. European Centre for Disease Prevention and Control. 22 June 2020. Acceso 7 de Julio de 2020.

<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/heating-ventilation-air-conditioning-systems-covid-19>

48. Lidia Morawska, L., Milton, D.K. It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. *Clinical Infectious Diseases*, ciaa939.

<https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>

49. **REHVA** (Federation of European Heating Ventilation and Air Conditioning Associations). 2020. How to operate and use building services in order to prevent the spread of the coronavirus disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in workplaces. [10 de mayo 2020] Disponible en:

<https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance>

50. ATECYR (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración). 2020. Guía de ATECYR de recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación para edificios de uso no sanitario para la prevención del contagio por COVID-19. Disponible en:

https://www.atecyr.org/docs/uploads/1588938441_Recomendaciones%20Atecyr%20sobre%20el%20Covid%27%20a%207%20de%20mayo%202020.pdf

51. ASHRAE (a) (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). 2020. Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic. ASHRAE Journal 72-74. Disponible en:

<https://www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic>. ASHRAE-(b) Position Document on Airborne Infectious Diseases. Disponible en:

<https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/airborne-infectious-diseases.pdf>

52. FEDECAI (Federación de Empresas de Calidad Ambiental en Interiores). 2020. Guía de recomendaciones preventivas en calidad del aire interior, para edificios de pública concurrencia frente al coronavirus (SARS-CoV-2).

Disponible en:

<https://acesem.org/wp-content/uploads/2020/04/GUIA-DE-EDIFICIOS-DE-PUBLICA-CONCURRENCIA.pdf>

53. AREA (Asociación Europea de Instaladores de Refrigeración, Aire Acondicionado y Bomba de Calor). 2020. COVID-19 y sistemas de aire acondicionado. Boletín Técnico de AREA. Disponible en:

<https://www.afec.es/covid-19/documentos/recomendaciones-instalaciones-aire-acondicionado.pdf>

54. WHO (**World Health Organization**). 2020. Getting your workplace ready for COVID-19. Disponible en: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/getting-workplace-ready-for-covid-19.pdf?sfvrsn=359a81e7>

55. **Ministerio de Sanidad**. 2020. Enfermedad por nuevo coronavirus, COVID-19. [20 de mayo 2020] Disponible en:

<https://www.mscbs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/home.htm>.

a-PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN PARA LOS SERVICIOS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES FRENTE A LA EXPOSICIÓN AL SARS-CoV-2.

Disponible en:

<https://www.mscbs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/PrevencionRRL COVID-19.pdf>.

b-Medidas higiénicas para la prevención de contagios del COVID-19.

Documento técnico (Versión de 6 de abril de 2020). Disponible en:

https://www.mscbs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/Medidas_higienicas COVID-19.pdf.

c-Buenas prácticas en los centros de trabajo. Medidas para la prevención de contagios del COVID-19. Disponible en:

<https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/presidencia/Documents/2020/GUIACENTROSTRABAJOCVID19b.pdf>