

## Documento de recomendaciones REHVA COVID-19 17 de noviembre de 2020

(Este documento actualiza todas las versiones anteriores, 3 de agosto, 3 de abril y 17 de marzo. Se realizarán más actualizaciones según sea necesario)

*Cómo operar los sistemas de climatización (HVAC) y otros sistemas técnicos de edificios para prevenir la propagación de la enfermedad por coronavirus (SARS-CoV-2) (COVID-19) en los lugares de trabajo.*

### 1. Introducción

En este documento, REHVA presenta los consejos sobre el funcionamiento y uso de las instalaciones térmicas del edificio durante la epidemia de la enfermedad por el coronavirus (SARS CoV 2), para reducir el riesgo de transmisión de COVID-19 dependiendo de factores relacionados con los sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado). Los siguientes consejos deben tratarse como una guía provisional; el documento puede complementarse con nueva evidencia e información cuando esté disponible.

Las sugerencias expuestas a continuación están pensadas como un complemento a la guía general para personal y propietarios de edificios que se presenta en el documento de la OMS "Preparar los lugares de trabajo para COVID-19". Este texto está destinado principalmente a profesionales de HVAC y administradores de edificios. Puede ser útil para especialistas en salud pública y prevención de riesgos laborales y otros profesionales involucrados en las decisiones sobre cómo utilizar los edificios.

En este documento, se cubren las medidas de prevención relacionadas con las instalaciones de los edificios. El alcance se limita a edificios comerciales y públicos (por ejemplo, oficinas, escuelas, áreas comerciales, instalaciones deportivas, etc.) donde solo se espera la ocupación ocasional de personas infectadas, y se presentan algunos consejos para entornos hospitalarios y de atención médica temporales. Los edificios residenciales están fuera del alcance de este documento.

La guía se centra en medidas temporales y fáciles de organizar que se pueden implementar en edificios existentes que están en uso durante o después de una epidemia con tasas de ocupación normales o reducidas. También se presentan algunas recomendaciones a largo plazo.

#### *Descargo de responsabilidad:*

*Este documento expresa el asesoramiento y las opiniones de los expertos de REHVA basados en el conocimiento científico disponible de la COVID-19, disponible en el momento de su publicación. En muchos aspectos, la información sobre el SARS-CoV-2 no es completa y es posible que se hayan utilizado algunas pruebas<sup>1</sup> de virus transmitidos por el aire anteriores para las recomendaciones de buenas prácticas. REHVA, los colaboradores y todos los involucrados en la publicación excluyen toda y cualquier responsabilidad por cualquier daño directo, indirecto, incidental o cualquier otro daño que pudiera resultar de, o estar relacionado con, el uso de la información presentada en este documento.*

<sup>1</sup> En las últimas dos décadas nos hemos enfrentado a tres brotes de enfermedad por coronavirus: (i) SARS en 2002-2003 (SARS-CoV-1), (ii) MERS en 2012 (MERS-CoV) y COVID-19 en 2019-2020 (SARS-CoV-2).

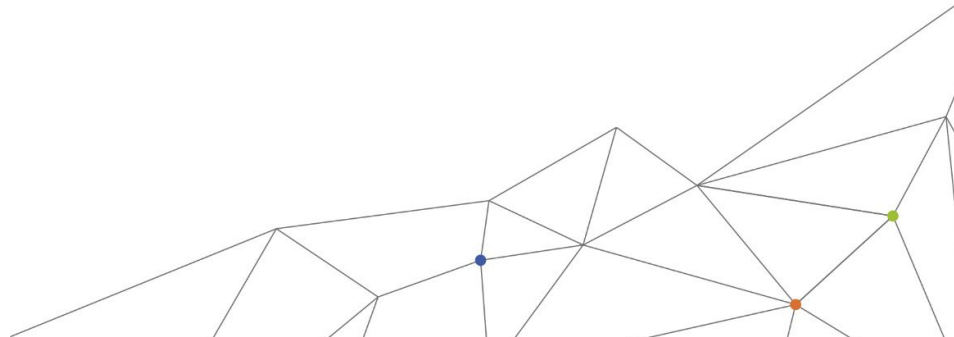
## Resumen

Recientemente se han desarrollado nuevas evidencias sobre la transmisión aérea del SARS-CoV-2 y el reconocimiento general de la transmisión por aerosoles de largo alcance. Esto ha hecho que las medidas de ventilación sean las medidas a nivel ingeniería más importantes en el control de infecciones. Si bien la distancia física es importante para evitar un contacto cercano, el riesgo de transmisión aérea y de infección cruzada a distancias de más de 1,5 m de una persona infectada se puede reducir con una ventilación adecuada y soluciones de distribución de aire eficaces. En tal situación, se requieren al menos tres niveles de orientación: (1) cómo operar HVAC y otros servicios de construcción en edificios existentes en este momento de epidemia; (2) cómo realizar una evaluación de riesgos y evaluar la seguridad de diferentes edificios y espacios; y (3) cuáles serían las acciones de mayor alcance para reducir aún más la propagación de enfermedades virales en el futuro en edificios con sistemas de ventilación mejorados. Cada espacio y funcionamiento del edificio es único y requiere una evaluación específica. Hacemos 15 recomendaciones que se pueden aplicar en edificios existentes a un costo relativamente bajo para reducir la cantidad de infecciones en interiores. Con respecto a las tasas de flujo de aire, una mayor ventilación siempre es mejor, pero no es la única consideración. Los espacios grandes, como las aulas, que están ventilados de acuerdo con las normas actuales, tienden a ser razonablemente seguros, pero las habitaciones pequeñas ocupadas por un par de personas muestran la mayor probabilidad de infección, incluso si están bien ventiladas. Si bien existen muchas posibilidades para mejorar la ventilación en el futuro, es importante reconocer que la tecnología y el conocimiento actuales que ya permiten el uso de muchos espacios en edificios durante un brote de COVID-19 si la ventilación cumple con los estándares existentes y se realiza una evaluación de riesgos. como se describe en este documento.

2

## Contenidos

1	Introducción.....	1
2	Rutas de transmisión.....	3
3	Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en el contexto de COVID-19.....	8
4	Recomendaciones prácticas para la operación de servicios de construcción durante una epidemia para la reducción del riesgo de infección.....	10
5	Resumen de medidas prácticas para el funcionamiento de los servicios de construcción durante una epidemia.....	17
	Apéndice 1: Evaluación del riesgo de transmisión aérea y acciones de gran alcance para reducir la propagación de enfermedades virales en futuros edificios con sistemas de ventilación mejorados.....	18
	Apéndice 2: Inspección de intercambiadores de calor rotativos para limitar las fugas internas.....	29
	Apéndice 3: Ventilación en las habitaciones de los pacientes.....	32
	Apéndice 4: COVID-19 orientación de servicios de ventilación y construcción para el personal escolar.....	34
	Comentarios.....	38
	Literatura.....	40



## 2 Rutas de transmisión

Es importante que en cada epidemia se comprendan las rutas de transmisión del agente infeccioso. Para el SARS CoV 2 y para muchos otros virus respiratorios predominan tres rutas de transmisión: (1) transmisión combinada por gotitas y por el aire en una región de contacto cercano de 1-2 m que surge de las gotitas y aerosoles emitidos al estornudar, toser, cantar, gritar, hablar y respirar; (2) transmisión aérea de largo alcance (basada en aerosoles); y (3) contacto superficial (fómite) a través de contactos mano-mano, mano-superficie, etc. Los medios para hacer frente a estas rutas son la distancia física para evitar el contacto cercano, la ventilación para evitar la transmisión aérea y la higiene de las manos y limpieza de superficies. Este documento se centra principalmente en las medidas de reducción de la transmisión aérea, mientras que el equipo de protección personal, como el uso de mascarillas, está fuera del alcance del documento. Las vías de transmisión adicionales que han ganado cierta atención son la vía fecal-oral y la resuspensión del SARS-CoV-2, que también se tratan en este documento.

El tamaño de una partícula con coronavirus es de 80-160 nanómetros<sup>2</sup> y permanece activa en las superficies durante muchas horas o un par de días a menos que haya una limpieza específica. En el aire interior, el SARS-CoV-2 puede permanecer activo hasta 3 horas y hasta 2-3 días en las superficies de la habitación en condiciones interiores comunes. Un virus transportado por el aire no está desnudo, sino que está contenido dentro de gotitas de líquido respiratorio expulsadas. Las gotas grandes caen, pero las gotas pequeñas permanecen en el aire y pueden viajar largas distancias transportadas por los flujos de aire en las habitaciones y en los conductos de extracción de aire de los sistemas de ventilación, así como en los conductos de impulsión cuando el aire se recircula. La evidencia sugiere que la transmisión aérea ha causado, entre otras, infecciones bien conocidas de SARS-CoV-1 en el pasado.

3

Las gotitas respiratorias expulsadas que están suspendidas en el aire (lo que significa transportadas por el aire) varían desde menos de 1  $\mu\text{m}$  (micrómetro = micrón) hasta más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, que es el tamaño de partícula más grande que se puede inhalar. También se denominan aerosoles, es decir, partículas suspendidas en el aire, ya que las gotitas son partículas líquidas. Los principales mecanismos de transmisión aérea se ilustran en la Figura 1.

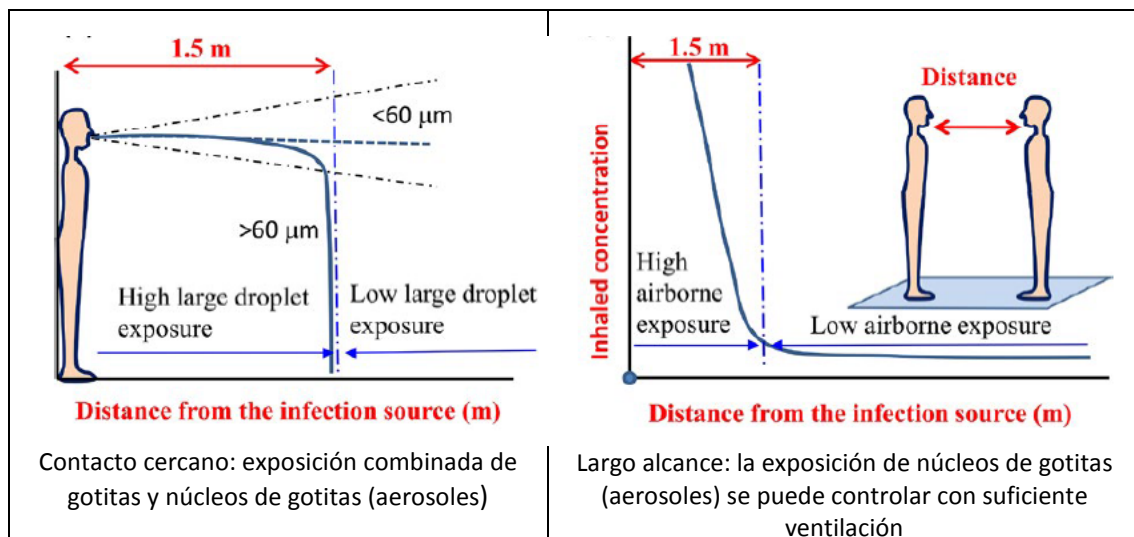


Figura 1. La distinción entre la transmisión combinada de gotas y aerosoles por contacto estrecho (izquierda) y la transmisión de aerosoles de largo alcance (derecha) que se puede controlar con ventilación diluyendo la concentración de virus a un nivel bajo. (Figura: cortesía de L. Liu, Y. Li, P. V. Nielsen et al.<sup>xii</sup>)

<sup>2</sup> 1 nanómetro = 0,001 micrones

La transmisión aérea depende del tamaño de la gota y generalmente se divide en regiones de contacto cercano y de largo alcance de la siguiente manera:

1. La región de transmisión de gotas de corto alcance para eventos de contacto cercano se puede definir a través de la distancia recorrida antes de que las gotas y las gotas grandes (hasta  $2000\ \mu\text{m} = 2\ \text{mm}$ ) caigan a la superficie. A una velocidad de gota inicial de  $10\ \text{m/s}$ , las gotas más grandes caen dentro de  $1,5\ \text{m}$ . Las actividades respiratorias corresponden a una velocidad de gota de  $1\ \text{m/s}$  para la respiración normal,  $5\ \text{m/s}$  para hablar,  $10\ \text{m/s}$  para toser y  $20\text{-}50\ \text{m/s}$  para estornudar. Las gotitas expulsadas se evaporan y se desecan en el aire, de modo que los núcleos de las gotitas finales se encogen aproximadamente a la mitad o un tercio del diámetro inicial. Las gotas con un diámetro inicial menor de  $60\ \mu\text{m}$  no llegan al suelo antes de que se sequen por completo y pueden ser transportadas más allá de  $1,5\ \text{m}$  por corrientes de aire.
2. La transmisión aérea de largo alcance se aplica más allá de  $1,5\ \text{m}$  de distancia para gotas  $<60\ \mu\text{m}$ . La desecación de las gotas es un proceso rápido; por ejemplo, las gotas de  $50\ \mu\text{m}$  se desecan en aproximadamente dos segundos y las gotas de  $10\ \mu\text{m}$  en  $0,1\ \text{s}$  a los núcleos de las gotas con aproximadamente la mitad del diámetro inicial<sup>3</sup>. Los núcleos de gotitas  $<10\ \mu\text{m}$  pueden ser transportados por corrientes de aire a largas distancias, ya que las velocidades de sedimentación para partículas de  $10\ \mu\text{m}$  y  $5\ \mu\text{m}$  (diámetro de equilibrio de los núcleos de gotitas) son solo  $0,3\ \text{cm/s}$  y  $0,08\ \text{cm/s}$ , lo que supone  $8,3$  y  $33$  minutos respectivamente para caer a  $1,5\ \text{m}$ . Debido a la desecación instantánea, el término "gota" se usa a menudo para los núcleos de las gotas desecadas que todavía incluyen algo de líquido que explica por qué los virus pueden sobrevivir. Los núcleos de las gotitas forman una suspensión de partículas en el aire, es decir, un aerosol. Con una ventilación de mezcla eficaz, la concentración de aerosol es casi constante desde una distancia de  $1\text{-}1,5\ \text{m}$  en adelante. Esta concentración se ve afectada más predominantemente por las tasas de cambio de aire en habitaciones adecuadamente ventiladas, pero también se reduce por la deposición y descomposición de partículas cargadas de virus.

4

La distancia de  $1,5\ \text{m}$  para que caigan gotas grandes, que se muestra en la Figura 2, a la izquierda, se aplica si no hay movimiento de aire en la habitación. Por lo general, la distribución de aire de la ventilación y los flujos de aire de convección de las ganancias de calor provocan velocidades del aire entre  $0,05\text{ - }0,2\ \text{m/s}$  en habitaciones típicas con ocupación humana. El uso de estas velocidades como límites inferior y superior junto con las velocidades de asentamiento de las partículas permite estimar la distancia que pueden viajar las gotas antes de caer  $1,5\ \text{m}$  bajo la influencia de la gravedad. Estas estimaciones ilustran que incluso gotas mayores de  $30\ \mu\text{m}$  pueden viajar mucho más de  $2$  metros.

<sup>3</sup> La física de las gotas respiratorias suspendidas en el aire muestra que una gota con un diámetro inicial de  $20\ \mu\text{m}$  se evaporará en  $0,24$  segundos en el aire ambiente con un  $50\%$  de HR reduciéndose al mismo tiempo a un núcleo de gota con un diámetro de equilibrio de aproximadamente  $10\ \mu\text{m}$ . Para estos núcleos de gotas de  $10\ \text{m}$ , que aún incluyen algo de líquido, se necesitan  $8,3$  minutos para caer  $1,5\ \text{m}$  en aire en calma.

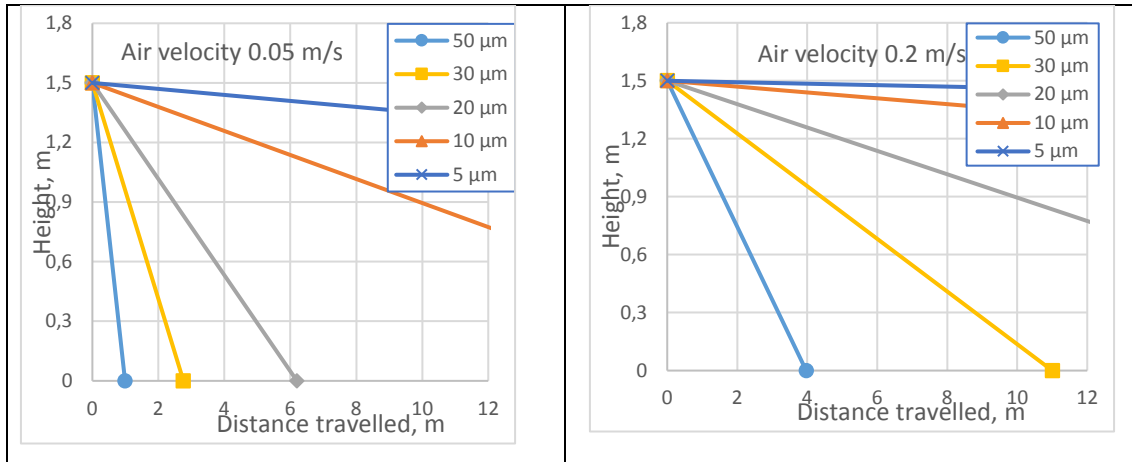


Figura 2. Estimaciones de la distancia de recorrido para diferentes tamaños de gotitas a ser transportadas por velocidades del aire de la habitación de 0,05 y 0,2 m/s antes de caer 1,5 m bajo la influencia de la gravedad. La distancia recorrida representa el movimiento después de que el chorro inicial se ha relajado y se calcula con el diámetro de equilibrio de las gotitas respiratorias completamente desecadas (los valores de  $\mu\text{m}$  en la figura se refieren a diámetros de equilibrio). Con turbulencia, la distancia recorrida es menor, pero el tiempo de asentamiento es mayor.

Más importante que la distancia que recorren las gotas de diferentes tamaños, es la distancia desde la fuente o la persona infectada a la que se alcanzará una concentración de aerosol baja y casi constante. Como se muestra en la Figura 1, a la derecha, la concentración de núcleos de gotitas disminuirá rápidamente dentro de 1 a 1,5 metros de la exhalación de una persona. Este efecto se debe a la aerodinámica del flujo de exhalación y al flujo en el microambiente alrededor de las personas (penacho). La distribución de los núcleos de las gotas depende de la posición de las personas, la tasa de cambio de aire, el tipo de sistema de distribución de aire (Mezcla, desplazamiento o ventilación individual) y otras corrientes de aire en el espacio. Por lo tanto, el contacto cercano dentro de los primeros 1,5 metros crea una alta exposición tanto a las gotas grandes como a los núcleos de las gotas, lo que está respaldado por estudios experimentales y numéricos<sup>xii</sup>. Las concentraciones de aerosoles y la infección cruzada de 1,5 m o más de una persona infectada pueden controlarse con ventilación adecuada y soluciones de distribución de aire. El efecto de la ventilación se ilustra en la Figura 3.

5

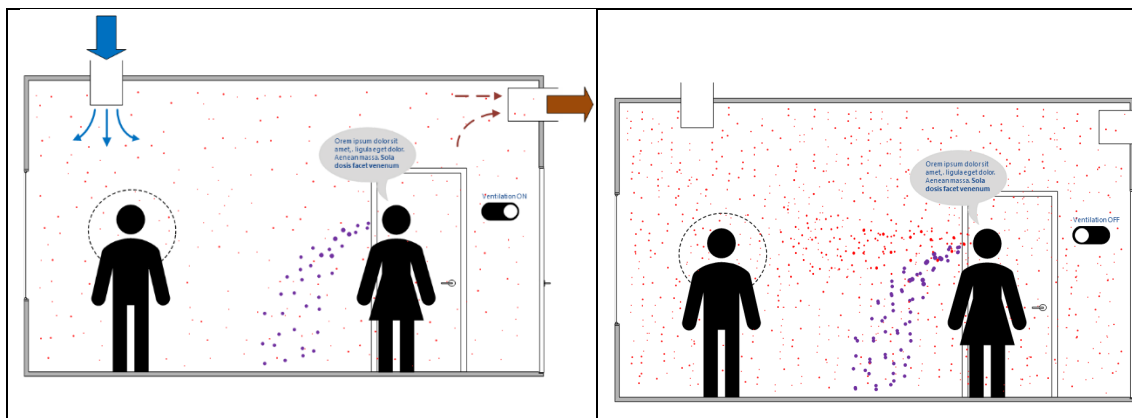


Figura 3. Ilustración de cómo una persona infectada (mujer que habla a la derecha) conduce a la exposición a aerosoles (puntos rojos) en la zona de respiración de otra persona (hombre a la izquierda en este caso). La exhalación de gotas grandes está marcada con puntos de color púrpura. Cuando la habitación está ventilada con un sistema de ventilación de mezcla, el número de partículas cargadas de virus en la zona de respiración es mucho menor que cuando el sistema de ventilación está apagado. Figura izquierda: sistema de ventilación encendido, figura derecha: sistema de ventilación apagado.

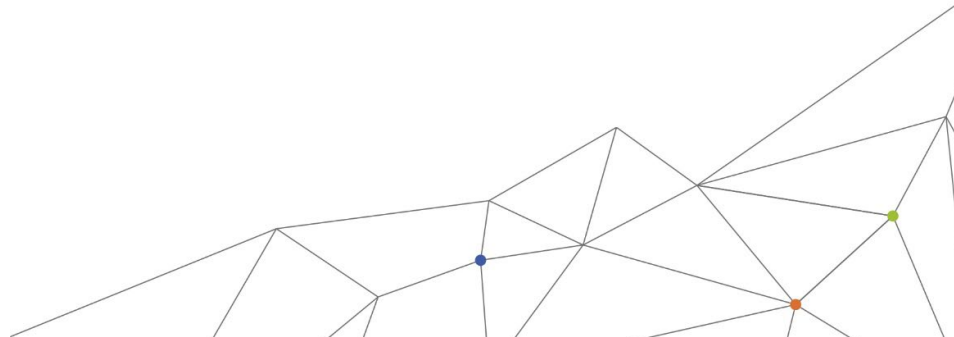
Para el SARS-CoV-2, la ruta basada en aerosoles de largo alcance con infección por exposición a partículas de núcleos de gotitas fue reconocida por primera vez por la OMS para los procedimientos hospitalarios de generación de aerosoles y se abordó en la guía para aumentar la ventilación. Las autoridades japonesas fueron una de las primeras en abordar la posibilidad de transmisión por aerosoles en determinadas circunstancias, como cuando se habla con muchas personas a corta distancia en un espacio cerrado, y el riesgo asociado de propagar la infección incluso sin toser o estornudar. Después de eso, han seguido muchas otras instituciones, incluidos los CDC de EE. UU., el gobierno del Reino Unido, el gobierno italiano y la Comisión Nacional de Salud de China. Se obtuvieron pruebas importantes de un estudio que concluyó que la transmisión por aerosoles es plausible, ya que el virus puede permanecer activo en aerosoles durante varias horas. Los análisis de los eventos de superpropagación han demostrado que los entornos cerrados con ventilación mínima contribuyeron en gran medida a un número característicamente alto de infecciones secundarias. Los eventos de superpropagación bien conocidos que informan la transmisión de aerosoles son los de un restaurante de Guangzhou y el evento Skagit Valley Chorale donde la tasa de ventilación del aire exterior era tan baja como 1–2 L/s por persona. El hecho de que haya surgido rápidamente evidencia sustancial que indique que el SARS-CoV-2 se transmite a través de aerosoles ha supuesto ser reconocido en general por muchos científicos. Hasta la fecha, la revisión del Centro Europeo para la Prevención y el Control de Enfermedades (ECDC) sobre los sistemas HVAC en el contexto de COVID-19, así como el Robert-Koch-Institut alemán, han reconocido el transporte de aerosoles. Finalmente, después de una carta abierta de 239 científicos, la OMS en junio de 2020 agregó la transmisión por aerosoles a su informe científico sobre el modo de transmisión. Generalmente, un mecanismo de transmisión basado en aerosoles de largo alcance implica que mantener una distancia de 1 a 2 m de una persona infectada no es suficiente, y se necesita un control de concentración con ventilación para la eliminación efectiva de partículas en los espacios interiores.

La transmisión por contacto superficial (fómite) puede ocurrir cuando las gotas grandes expulsadas caen sobre superficies y objetos cercanos, como escritorios y mesas. Una persona puede infectarse con COVID-19 al tocar una superficie u objeto que tiene el virus y luego tocarse la boca, la nariz o posiblemente los ojos, pero los CDC de EE. UU. y otros han concluido que esta ruta no se cree que sea la principal forma de propagación de este virus.

La OMS reconoce la vía de transmisión fecal-oral, es decir, aerosol/aguas residuales para las infecciones por SARS-CoV-2. La OMS propone como medida de precaución descargar los inodoros con la tapa cerrada. En este contexto, es fundamental evitar los desagües secos y las trampas en U en los suelos y otros dispositivos sanitarios añadiendo agua periódicamente (cada tres semanas según el clima) para que el sello hidráulico funcione correctamente. Esto evita la transmisión de aerosoles a través del sistema de alcantarillado y está en consonancia con las observaciones durante el brote de SARS en 2002-2003: *las conexiones abiertas con los sistemas de alcantarillado parecían ser una ruta de transmisión en un edificio de apartamentos en Hong Kong (Amoy Garden)*. Se sabe que los inodoros con descarga de agua crean flujos de aire ascendentes que contienen gotas y residuos de gotas cuando los inodoros se descargan con las tapas abiertas. Se han detectado virus del SARS-CoV-2 en muestras de heces (informados en artículos científicos recientes y por las autoridades chinas).

### **Conclusión sobre la ruta de transmisión de aerosoles (aerotransportados):**

Recientemente se han desarrollado nuevas pruebas y un reconocimiento general de la ruta de transmisión basada en aerosoles. Cuando se publicó la primera versión de este documento el 17 de marzo de 2020, REHVA propuso seguir el principio ALARAP (tan bajo como sea razonablemente alcanzable) para aplicar un conjunto de medidas en las instalaciones HVAC que ayuden a controlar la ruta de los aerosoles en los edificios. Hasta la fecha, hay evidencia de transmisión basada en aerosoles del SARS-CoV-2, y esta ruta ahora es reconocida en todo el mundo. La contribución relativa de las diferentes rutas de transmisión en la propagación de COVID-19 aún está en discusión. También depende mucho de la situación si predomina una vía de transmisión u otra. Por ejemplo, en hospitales con una excelente tasa de ventilación de 12 cambios de aire por hora (ACH), la transmisión de aerosoles se elimina en su mayoría, pero en espacios mal ventilados, puede ser dominante. Las vías de transmisión siguen siendo un tema de investigación importante y ya se ha informado que la vía de corto alcance basada en aerosoles domina la exposición a infecciones respiratorias durante el contacto cercano. La literatura médica ha comenzado a hablar de un nuevo paradigma de aerosoles infecciosos. Se concluye que no hay evidencia que respalde el concepto de que la mayoría de las infecciones respiratorias se asocian principalmente con la transmisión de gotas grandes y que los aerosoles de partículas pequeñas son la regla, más que la excepción, contrariamente a las pautas actuales. En el contexto de los edificios y espacios interiores, no hay duda de que el riesgo de infección cruzada puede controlarse hasta 1,5 m de una persona con distancia física y más allá de esa distancia con soluciones de ventilación.



### 3 Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en el contexto de COVID-19

Hay muchas medidas posibles que se pueden tomar para mitigar el riesgo de transmisión de COVID-19 en los edificios. Este documento cubre recomendaciones para soluciones de ventilación como los principales "controles de ingeniería", como se describe en la jerarquía tradicional de control de infecciones (Figura 4) para reducir los riesgos ambientales de la transmisión aérea. De acuerdo con esta jerarquía, la ventilación y otras medidas relacionadas con HVAC y saneamiento están a un nivel más alto que la aplicación de controles administrativos y equipo de protección personal (incluidas las mascarillas). Por lo tanto, es muy importante considerar la ventilación y otras medidas del sistema técnico del edificio para proteger contra la transmisión aérea. Estos pueden aplicarse en edificios existentes a un costo relativamente bajo para reducir el riesgo de infección en interiores.

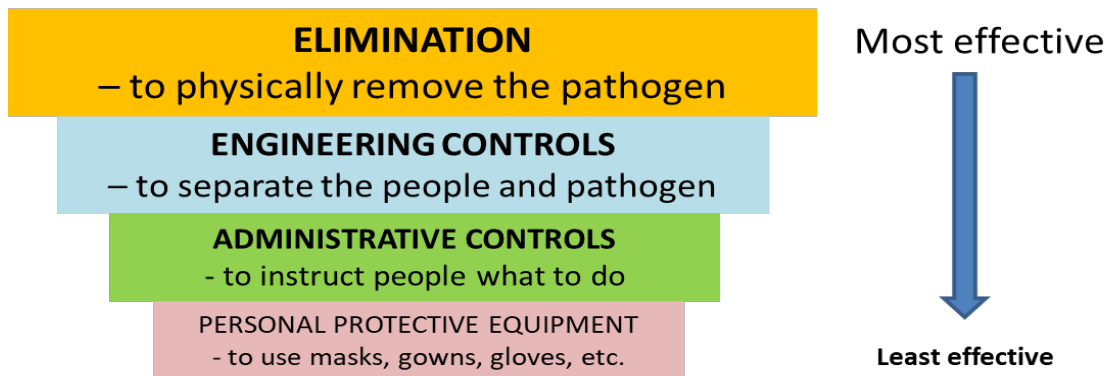


Figura 4: Pirámide de control de infecciones tradicional adaptada de los Centros para el Control de Enfermedades de EE. UU.

8

El Centro Europeo para la Prevención y el Control de Enfermedades (ECDC) ha preparado una guía para las autoridades de salud pública en los países de la UE/EEE y el Reino Unido sobre la ventilación de espacios interiores en el contexto de la COVID-19<sup>xxi</sup>. Esta guía está dirigida a profesionales de la salud pública y sirve como base para que REHVA brinde orientación técnica y específica del sistema HVAC para los profesionales. Las principales pruebas y conclusiones del ECDC se pueden resumir de la siguiente manera:

- La transmisión de COVID-19 ocurre comúnmente en espacios interiores cerrados.
- Actualmente no hay evidencia de infección humana con SARS-CoV-2 causada por aerosoles infecciosos distribuidos a través de los conductos de aire del sistema de ventilación. El riesgo se califica como muy bajo.
- Los sistemas HVAC bien mantenidos, incluidas las unidades de aire acondicionado, filtran de forma segura las gotas grandes que contienen SARS-CoV-2. Los aerosoles COVID-19 (pequeñas gotas y núcleos de gotas) se pueden propagar a través de los sistemas HVAC o en unidades de aire acondicionado independientes, dentro de un edificio o vehículo, y si el aire se recircula.
- El flujo de aire generado por las unidades de aire acondicionado puede facilitar la propagación de las gotas excretadas por personas infectadas a distancias más largas dentro de los espacios interiores.
- Los sistemas HVAC pueden tener un papel complementario en la disminución de la transmisión en los espacios interiores al aumentar la tasa de cambio de aire, disminuir la recirculación de aire y aumentar el uso de aire exterior.



- Los administradores de edificios deben mantener los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado de acuerdo con las instrucciones vigentes del fabricante, particularmente en lo que respecta a la limpieza y cambio de filtros. No hay beneficio ni necesidad de ciclos de mantenimiento adicionales en relación con COVID-19.
- Deben evitarse los ajustes de ahorro de energía, como la ventilación controlada por demanda por un temporizador o detectores de CO<sub>2</sub>.
- Se debe considerar la posibilidad de ampliar los tiempos de funcionamiento de los sistemas HVAC antes y después del período regular.
- El flujo de aire directo debe desviarse de los grupos de individuos para evitar la dispersión de patógenos de los sujetos infectados y la transmisión.
- Los organizadores y administradores responsables de las reuniones y los entornos de infraestructura crítica deben explorar opciones con la ayuda de sus equipos técnicos/de mantenimiento para evitar el uso de la recirculación de aire tanto como sea posible. Deben considerar revisar sus procedimientos para el uso de recirculación en sistemas HVAC basándose en la información proporcionada por el fabricante o, si no está disponible, buscar asesoramiento del fabricante.
- Se debe garantizar en todo momento el número mínimo de intercambios de aire por hora, siguiendo las normas de edificación aplicables. Aumentar el número de intercambios de aire por hora reducirá el riesgo de transmisión en espacios cerrados. Esto se puede lograr mediante ventilación natural o mecánica, según el entorno.

En la directriz, el ECDC destaca la importancia de la ventilación al concluir que garantizar la implementación de una ventilación óptima adaptada a cada entorno interior particular podría ser fundamental para prevenir brotes y eventos de amplificación de la transmisión. En la directriz se requiere asegurar en todo momento el número mínimo de intercambios de aire por hora, de acuerdo con las regulaciones de edificación aplicables. Se afirma que aumentar el número de intercambios de aire por hora, mediante ventilación natural o mecánica, reducirá el riesgo de transmisión en espacios cerrados. La ventilación se ha considerado un método importante porque no hay pruebas sobre la eficacia de los métodos de descontaminación del aire (por ejemplo, irradiación con luz ultravioleta) para su uso en entornos ocupados.

#### 4 Recomendaciones prácticas para la operación de las instalaciones del edificio durante una epidemia para la reducción del riesgo de infección

Esta guía de REHVA sobre la operación de servicios de construcción cubre 15 elementos principales, como se ilustra en la Figura 5:

1. Tasas de ventilación
2. Tiempos de operación de ventilación
3. Anulación de la configuración de control de la demanda
4. Apertura de ventana
5. Ventilación del inodoro
6. Ventanas en baños
7. Inodoros con descarga
8. Recirculación
9. Equipo de recuperación de calor
10. Fan coils y unidades split
11. Puntos de operación de calefacción, refrigeración y posible humidificación
12. Limpieza de conductos
13. Filtros de aire exterior y aire de extracción
14. Trabajos de mantenimiento
15. Supervisión de la calidad del aire interior (IAQ)

10

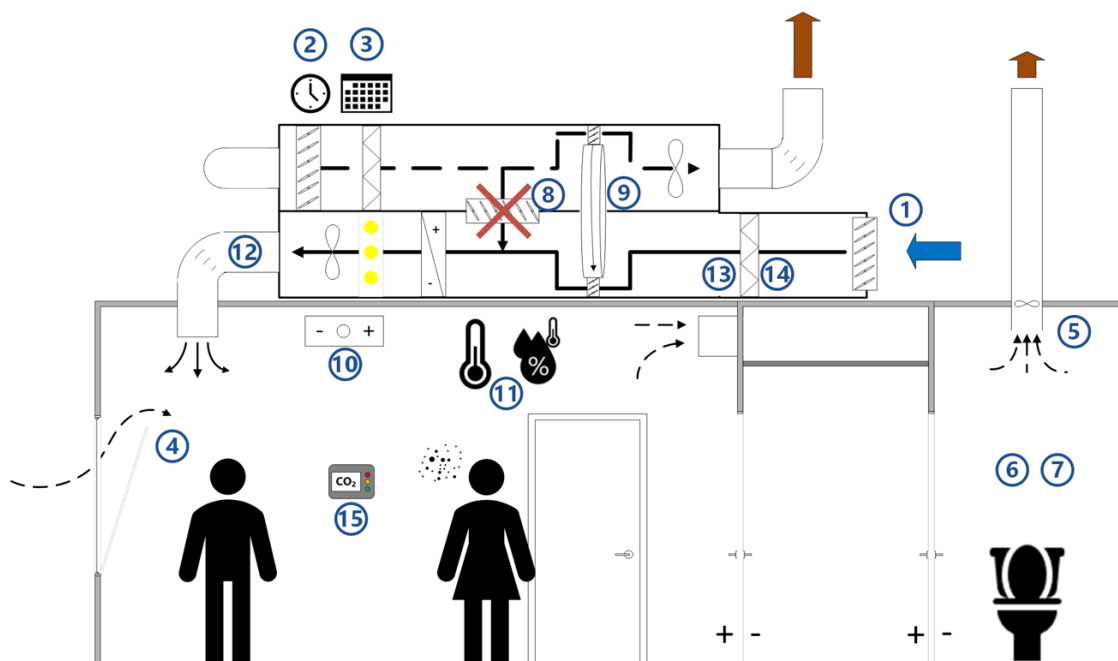


Figura 5. Principales elementos de la guía REHVA para la operación de instalaciones de edificios.

#### 4.1 Aumente el suministro de aire y la ventilación de escape

En edificios con sistemas de ventilación mecánica, es conveniente aumentar tiempos de operación de estos sistemas. Se recomienda iniciar la ventilación a la velocidad nominal al menos 2 horas antes de la hora de apertura del edificio y apagar u operar a una velocidad más baja 2 horas después del fin de uso del edificio. En los sistemas de ventilación controlados por demanda, cambie el punto de ajuste de CO<sub>2</sub> a 400 ppm para mantener el funcionamiento a la velocidad nominal. En edificios que han sido desocupados debido a la pandemia (algunas oficinas o edificios educativos), no se recomienda apagar la ventilación, sino operar continuamente a velocidad reducida durante las horas normales de operación. El tiempo de funcionamiento prolongado ayuda a eliminar las partículas de virus del edificio y a eliminar las partículas de virus liberadas de las superficies. En invierno y verano, se debe aceptar un mayor consumo de energía, porque los sistemas de climatización tienen suficiente capacidad de calefacción y refrigeración para cumplir con estas recomendaciones sin comprometer el confort térmico.

El consejo general es suministrar tanto aire exterior como sea razonablemente posible. El aspecto clave es el caudal de aire exterior total, normalmente dimensionado como caudal de aire de suministro por metro cuadrado de superficie de suelo o por persona. La tasa de suministro de aire limpio de un filtro de aire se suma a la tasa de flujo de aire de suministro (consulte el Apéndice 1 para obtener detalles).

Si se reduce el número de ocupantes, no concentre a los ocupantes restantes en áreas más pequeñas, pero mantenga o aumente la distancia física (mínimo 2-3 m entre personas) entre ellos para mejorar el efecto de dilución de la ventilación. En el Apéndice 1 se proporciona más información sobre las tasas de ventilación y los riesgos en diferentes espacios.

Los sistemas de ventilación por extracción de los inodoros deben funcionar de manera similar al sistema de ventilación principal. Debe cambiarse a la velocidad nominal al menos 2 horas antes de la hora de apertura del edificio y puede apagarse u operarse a una velocidad más baja 2 horas después del fin de uso del edificio.

En el Apéndice 3 se proporciona orientación adicional sobre ventilación para las habitaciones de los pacientes y en el Apéndice 4 para el personal escolar.

#### 4.2 Utilice más ventanas que se pueden abrir

La recomendación general es mantenerse alejado de espacios concurridos y mal ventilados. En edificios sin sistemas de ventilación mecánica, se recomienda utilizar activamente las ventanas que se pueden abrir (mucho más de lo normal, incluso cuando esto provoque algunas molestias térmicas). La apertura de las ventanas es entonces la única forma de impulsar las tasas de intercambio de aire. Las ventanas deben abrirse durante aproximadamente 15 minutos al entrar en la habitación (especialmente cuando la habitación estaba ocupada por otros antes). Además, en edificios con ventilación mecánica, la apertura de la ventana se puede utilizar para aumentar aún más la ventilación.

Las ventanas abiertas en los inodoros con una ventilación pasiva o sistemas de extracción mecánicos pueden causar un flujo de aire contaminado desde el inodoro a otras habitaciones, lo que implica que la ventilación comienza a funcionar en la dirección inversa. Se deben evitar las ventanas abiertas de los inodoros para mantener la presión negativa en los inodoros y la dirección correcta de la ventilación mecánica. Si no hay una ventilación de extracción adecuada de los inodoros y no se puede evitar la apertura de ventanas en los inodoros, es importante mantener las ventanas abiertas también en otros espacios para lograr flujos cruzados en todo el edificio.

### 4.3 La humidificación y el aire acondicionado no tienen ningún efecto práctico

La humedad relativa (RH) y la temperatura contribuyen a la viabilidad del virus, la formación de núcleos de gotitas y la susceptibilidad de las membranas mucosas de los ocupantes. La transmisión de algunos virus en los edificios se puede alterar cambiando la temperatura del aire y los niveles de humedad para reducir la viabilidad del virus. En el caso del SARS-CoV-2, desafortunadamente esta no es una opción ya que los coronavirus son bastante resistentes a los cambios ambientales y son susceptibles solo a una humedad relativa muy alta por encima del 80% y una temperatura por encima de 30 °C, que no son alcanzables y aceptables en edificios por razones de confort térmico y para evitar el crecimiento microbiano. Se ha encontrado que el SARS-CoV-2 es viable durante 14 días a 4 °C; durante un día a 37 °C y durante 30 minutos a 56 °C.

La estabilidad (viabilidad) del SARS-CoV-2 se ha probado a una temperatura interior típica de 21-23 °C y una HR del 65% con una estabilidad del virus muy alta a esta temperatura y HR. Junto con la evidencia previa sobre MERS-CoV, está bien documentado que la humidificación hasta un 65% puede tener un efecto muy limitado o nulo sobre la estabilidad del virus SARS-CoV-2. La evidencia actual no respalda la opinión de que la humedad moderada (HR 40-60%) sea beneficiosa para reducir la viabilidad del SARS-CoV-2 y, por lo tanto, la humidificación NO es un método para reducir la viabilidad del SARS-CoV-2.

Las gotas pequeñas (0,5 - 50 µm) se evaporarán más rápido a cualquier nivel de humedad relativa (RH). Los sistemas nasales y las mucosas son más sensibles a las infecciones a una HR muy baja del 10-20%, por lo que en ocasiones se sugiere alguna humidificación en invierno (a niveles del 20-30%), aunque se ha asociado el uso de humidificadores con mayores situaciones de baja por enfermedad total y de corta duración.

En los edificios equipados con humidificación centralizada, no es necesario cambiar los puntos de ajuste de los sistemas de humidificación (generalmente 25 o 30%). Por lo general, no es necesario ningún ajuste de los puntos de ajuste para los sistemas de calefacción o refrigeración, y los sistemas se pueden operar normalmente, ya que no existe una implicación directa para el riesgo de transmisión del SARS-CoV-2.

### 4.4 Uso seguro de las secciones de recuperación de calor

La transmisión de partículas de virus a través de dispositivos de recuperación de calor no es un problema cuando un sistema HVAC está equipado con una unidad de placas doble u otro dispositivo de recuperación de calor que garantiza una separación del aire del 100% entre el lado de retorno y el de suministro.

Algunos dispositivos de recuperación de calor pueden transportar partículas y contaminantes del lado del aire de extracción al lado del aire de impulsión a través de fugas. Los intercambiadores de calor rotativos de aire a aire (es decir, rotores, también llamados ruedas) pueden estar sujetos a fugas significativas en el caso de un diseño y mantenimiento deficientes. Para intercambiadores de calor rotativos que funcionan correctamente, equipados con sectores de purga y configurados correctamente, las tasas de fuga son muy bajas, estando en el rango de 0-2% que en la práctica es insignificante. Para los sistemas existentes, la fuga debe ser inferior al 5% y debe compensarse con una mayor ventilación del aire exterior, de acuerdo con EN 16798-3: 2017. Sin embargo, es posible que muchos intercambiadores de calor rotativos no estén instalados correctamente. La falta más común es que los ventiladores se han montado de tal manera que crean una mayor presión en el lado del aire de escape. Esto provocará una fuga del aire extraído al aire de impulsión. El grado de transferencia incontrolada de aire de extracción contaminado puede en estos casos ser del orden del 20%, lo que no es aceptable.

Se ha demostrado que los intercambiadores de calor rotativos que se construyen, instalan y mantienen correctamente tienen una transferencia casi nula de contaminantes ligados a partículas (incluidas bacterias, virus y hongos transportados por el aire), y la transferencia se limita a contaminantes gaseosos como el tabaco, humo y otros olores. No hay evidencia de que las partículas cargadas de virus mayores de aproximadamente 0,2  $\mu\text{m}$  se transfieran a través de la rueda. Debido a que la mayor parte de la fuga es causada por las diferencias de presión entre la impulsión y el aire de escape, detener el rotor solo tendrá un impacto menor de la fuga. Por lo tanto, no es necesario apagar el rotor. El funcionamiento normal de los rotores también hace que sea más fácil mantener las tasas de ventilación más elevadas. Se sabe que la fuga de arrastre es más alta con un flujo de aire bajo, por lo que deben usarse tasas de ventilación más altas como se recomienda en la Sección 4.1.

Si se detectan fugas críticas en las secciones de recuperación de calor, el ajuste de presión o la derivación (algunos sistemas pueden estar equipados con derivación) puede ser una opción para evitar una situación en la que una presión más alta en el lado de extracción cause fugas de aire al lado de impulsión. Las diferencias de presión pueden corregirse mediante amortiguadores u otros ajustes razonables. En conclusión, recomendamos inspeccionar el equipo de recuperación de calor, incluida la medición de la diferencia de presión y la estimación de fugas en función de la medición de temperatura, consulte el Apéndice 2.

#### 4.5 Sin uso de recirculación central

El material viral en los conductos de aire de extracción (retorno) puede volver a introducirse a un edificio cuando las unidades de tratamiento de aire centralizadas están equipadas con sectores de recirculación. La recomendación general es evitar la recirculación central durante los episodios de SARS-CoV-2: cierre las compuertas de recirculación utilizando el sistema de gestión de edificios o manualmente. Esto es especialmente importante en edificios que son utilizados por usuarios finales vulnerables (por ejemplo, hogares de ancianos).

A veces, las unidades de tratamiento de aire y las secciones de recirculación están equipadas con filtros de aire de retorno. Esta no debería ser una razón para mantener abiertas las compuertas de recirculación, ya que estos filtros normalmente no filtran el material viral de manera efectiva, ya que tienen eficiencias de filtrado gruesas o medias (clase de filtro G4 / M5 o ISO gruesa / ePM10).

En los sistemas todo aire y los sistemas de aire/agua donde no se puede evitar la recirculación central debido a la capacidad limitada de enfriamiento o calefacción, la fracción de aire exterior debe aumentarse tanto como sea posible y se recomiendan medidas adicionales para el filtrado del aire de retorno. Para eliminar por completo las partículas y los virus del aire de retorno, se necesitarían filtros HEPA. Sin embargo, debido a una mayor caída de presión y marcos de filtro especiales requeridos, los filtros HEPA generalmente no son fáciles de instalar en los sistemas existentes. Alternativamente, se puede usar la instalación de conductos de dispositivos de desinfección, como la irradiación germicida ultravioleta (UVGI), también llamada ultravioleta germicida (GUV). Es fundamental que este equipo esté correctamente dimensionado e instalado. Si es técnicamente posible, se prefiere montar un filtro de clase superior en los marcos existentes y aumentar la presión del ventilador de extracción sin reducir la tasa de flujo de aire. Una mejora mínima es el reemplazo de los filtros de aire de retorno de baja eficiencia existentes por filtros ePM1 80% (antiguo F8). Los filtros de la antigua clase F8 tienen una eficiencia de captura razonable para partículas cargadas de virus (eficiencia de captura del 65-90% para PM1).<sup>4</sup>

<sup>4</sup> En los hospitales, el uso de la recirculación está estrictamente prohibido en muchos países.

#### 4.6 Circulación a nivel de habitación: ventiloconvectores, split e inducción

En habitaciones con fan coils solamente o unidades split (sistemas de expansión directa o todo agua), la primera prioridad es lograr una ventilación adecuada del aire exterior. En estos sistemas, los fan coils o unidades split, suelen ser independientes de la ventilación mecánica, que en algunos casos incluso puede no existir. Existen dos opciones posibles para lograr la ventilación:

1. Operación activa de apertura de ventanas junto con la instalación de monitores de CO<sub>2</sub> como indicadores de ventilación del aire exterior;
2. Instalación de un sistema de ventilación mecánica autónomo (local o centralizado sin recirculación, según su viabilidad técnica). Ésta es la única forma de garantizar un suministro suficiente de aire exterior en las habitaciones en todo momento.

Si se utiliza la opción 1, los monitores de CO<sub>2</sub> son importantes, porque los fan coils y las unidades split con funciones de refrigeración o calefacción mejoran el confort térmico, y los ocupantes pueden tardar demasiado en percibir la mala calidad del aire y la falta de ventilación. Durante las horas de ocupación, deje las ventanas parcialmente abiertas (si se pueden abrir) para aumentar el nivel de ventilación. Vea un ejemplo de un monitor de CO<sub>2</sub> en el Apéndice 4, Figura 17.

Las unidades de fan coil tienen filtros gruesos que prácticamente no filtran partículas pequeñas, pero aún pueden retener partículas potencialmente contaminadas. Se deben seguir los procedimientos de mantenimiento estándar con las recomendaciones provistas en la Sección 4.9.

Las unidades split y, a veces, los fan coils pueden generar altas velocidades del aire. En espacios comunes (habitaciones más grandes con fancoil o unidades split ocupadas por muchas personas), en el caso de velocidades de aire locales de 0.3 m/s o más, se deben evitar los flujos de aire dirigidos de una persona a otra con ajustes en la posición de los lugares de trabajo o del chorro de aire.

14

#### 4.7 La limpieza de conductos no tiene ningún efecto práctico

Ha habido algunas declaraciones exageradas que recomiendan limpiar los conductos de ventilación para evitar la transmisión del SARS-CoV-2 a través de los sistemas de ventilación. La limpieza de conductos no es eficaz contra la infección de una habitación a otra porque el sistema de ventilación no es una fuente de contaminación si se siguen las pautas anteriores sobre recuperación y recirculación de aire. Los virus adheridos a partículas pequeñas no se depositarán fácilmente en los conductos de ventilación y normalmente serán eliminados por el flujo de aire. Por lo tanto, no se necesitan cambios en los procedimientos normales de limpieza y mantenimiento de conductos. Mucho más importante es aumentar el suministro de aire exterior y evitar la recirculación de aire de acuerdo con las recomendaciones anteriores.

#### 4.8 No es necesario un cambio adicional de filtros de aire exterior

En el contexto de COVID-19, se han hecho preguntas sobre el reemplazo del filtro y el efecto protector en casos muy raros de contaminación por virus del aire exterior, por ejemplo, si las salidas de aire están cerca de las entradas de aire. Los sistemas de ventilación modernos (unidades de tratamiento de aire) están equipados con filtros finos justo después de la entrada de aire (clase de filtro F7 o F8 o ISO ePM2.5 o ePM1), que filtran las partículas del aire exterior. El tamaño de las partículas virales más pequeñas en los aerosoles respiratorios es de aproximadamente 0,2 µm (PM0,2), más pequeño que el área de captura de los filtros F8<sup>s</sup> (eficiencia de captura 65-90% para PM1). Aún así, la mayoría del material viral se encuentra dentro del área de captura de los filtros.

Esto implica que, en casos raros de aire exterior contaminado con virus, los filtros de aire exterior finos estándar brindan una protección razonable para concentraciones bajas y la aparición ocasional de material viral en el aire exterior.

Las secciones de recuperación y recirculación de calor están equipadas con filtros de aire de extracción media o gruesa menos eficaces (G4/M5 o ISO gruesa / ePM10) cuyo objetivo es proteger el equipo contra el polvo. Estos filtros tienen una eficiencia de captura muy baja para material viral (consulte la Sección 4.4 para la recuperación de calor y 4.5 para la recirculación).

Desde la perspectiva del reemplazo del filtro, se pueden utilizar los procedimientos de mantenimiento normales. Los filtros obstruidos no son una fuente de contaminación en este contexto, pero reducen el flujo de aire de suministro, lo que tiene un efecto negativo en la reducción de los niveles de contaminación en interiores. Por lo tanto, los filtros deben reemplazarse de acuerdo con los procedimientos normales cuando se exceden los límites de presión o de tiempo, o de acuerdo con el mantenimiento programado. En conclusión, no se recomienda cambiar los filtros de aire exterior existentes y reemplazarlos por otro tipo de filtros, ni se recomienda cambiarlos antes de lo habitual.

#### **4.9 Procedimientos de seguridad para el personal de mantenimiento**

El personal de mantenimiento de HVAC puede estar en riesgo al realizar el mantenimiento programado, la inspección o el reemplazo de los filtros (especialmente los filtros de aire de extracción) si no se siguen los procedimientos de seguridad estándar. Para estar seguro, suponga siempre que los filtros, los conductos de aire de extracción y el equipo de recuperación de calor pueden tener material microbiológico activo, incluidos virus viables. Esto es particularmente importante en cualquier edificio donde haya habido una infección recientemente. Los filtros deben cambiarse con el sistema apagado, con guantes y protección respiratoria y desecharse en una bolsa sellada.

15

#### **4.10 Los filtros de aire de la habitación y los UVGI pueden ser útiles en situaciones específicas**

Los filtros de aire de la habitación eliminan las partículas del aire, lo que proporciona un efecto similar en comparación con la ventilación del aire exterior. Para ser efectivos, los purificadores de aire deben tener una eficiencia de filtro HEPA, es decir, tener un filtro HEPA como último paso. Desafortunadamente, los filtros de aire para habitaciones con precios más atractivos no son lo suficientemente efectivos. Los dispositivos que utilizan principios de filtración electrostática en lugar de filtros HEPA (¡no es lo mismo que los ionizadores de habitación!) a menudo funcionan con una eficiencia similar. Debido a que el flujo de aire a través de los filtros de aire es limitado, la superficie que pueden servir suele ser bastante pequeña. Para seleccionar el filtro de aire del tamaño correcto, la capacidad de flujo de aire de la unidad (a un nivel de ruido aceptable) debe ser de al menos 2 ACH y tendrá un efecto positivo hasta 5 ACH (calcule la tasa de flujo de aire a través del filtro de aire en  $m^3/h$  por multiplicando el volumen de la habitación por 2 o 5). Si los purificadores de aire se utilizan en espacios grandes, deben colocarse cerca de las personas y no deben colocarse en una esquina ni fuera de la vista. Pueden instalarse equipos especiales de desinfección UVGI en conductos de aire de retorno en sistemas con recirculación, o instalarse en la habitación, para inactivar virus y bacterias.

<sup>5</sup> Una clasificación de filtro obsoleta de EN779: 2012 que es reemplazada por EN ISO 16890-1: 2016, Filtros de aire para ventilación general - Parte 1: Especificaciones técnicas, requisitos y sistema de clasificación basado en la eficiencia de partículas en suspensión (ePM).

Dichos equipos, que se utilizan principalmente en las instalaciones de atención médica, deben tener el tamaño, la instalación y el mantenimiento adecuados. Por lo tanto, los filtros de aire son una medida de mitigación a corto plazo fácil de aplicar, pero a largo plazo, se necesitan mejoras en el sistema de ventilación para lograr tasas de ventilación adecuadas de aire exterior.

#### 4.11 Instrucciones de uso de la tapa del inodoro

Si los asientos de inodoro están equipados con tapas, se recomienda descargar los inodoros con las tapas cerradas para minimizar la liberación de gotas y residuos de gotas de los flujos de aire,<sup>xxvi</sup>. Se debe indicar claramente a los ocupantes del edificio que utilicen las tapas. Los sellos hidráulicos deben funcionar en todo momento<sup>xxvii</sup>. Controle periódicamente los sellos hidráulicos (desagües y trampas en U) y agregue agua si es necesario, al menos cada tres semanas.

#### 4.12 Riesgo de legionelosis después de la parada

Durante la duración de la epidemia de SARS-CoV-2 (COVID-19), muchos edificios han experimentado un uso reducido o el cierre completo durante períodos prolongados. Esto incluye, por ejemplo, hoteles/complejos turísticos, escuelas, instalaciones deportivas, gimnasios, piscinas, baños y muchos otros tipos de edificios e instalaciones equipados con sistemas de HVAC y agua.

Dependiendo de una variedad de factores, incluida la distribución y el diseño del sistema, el uso reducido prolongado (o nulo) puede provocar un estancamiento del agua en partes de los sistemas HVAC y de agua, lo que aumenta los riesgos de un brote de la enfermedad del legionario (legionelosis) al reanudar la operación.

Antes de reiniciar el sistema, se debe realizar un análisis de riesgos exhaustivo para evaluar cualquier riesgo de legionelosis posible. Varias autoridades pertinentes proporcionan información sobre la evaluación de riesgos relacionados, incluidos los procedimientos de reinicio.

16

#### 4.13 Monitoreo de IAQ

El riesgo de contaminación cruzada en interiores a través de aerosoles es muy alto cuando las habitaciones no están bien ventiladas. Si el control de la ventilación necesita acciones por parte de los ocupantes (sistemas de ventilación híbridos o naturales) o no hay un sistema de ventilación específico en el edificio, se recomienda instalar sensores de CO<sub>2</sub> en la zona ocupada que adviertan contra la falta de ventilación, especialmente en espacios que se utilizan a menudo durante una hora o más por grupos de personas, como aulas, salas de reuniones y restaurantes. Durante una epidemia, se recomienda cambiar temporalmente la configuración predeterminada del indicador de semáforo para que la luz amarilla/naranja (o advertencia) se establezca en 800 ppm y la luz roja (o alarma) en 1000 ppm para activar una acción rápida para lograr una ventilación suficiente incluso en situaciones de ocupación reducida. En algunos casos, se pueden utilizar sensores de CO<sub>2</sub> independientes o 'semáforos de CO<sub>2</sub>'; consulte un ejemplo en el Apéndice 4. A veces puede funcionar mejor utilizar sensores de CO<sub>2</sub> que forman parte de una red de sensores basada en la web. Las señales de estos sensores se pueden usar para advertir a los ocupantes del edificio que usen ventanas operables y sistemas de ventilación mecánica con múltiples configuraciones de la manera correcta. También se pueden almacenar los datos y proporcionar a los administradores de las instalaciones informes de datos semanales o mensuales para que sepan lo que está sucediendo en su edificio y en las habitaciones con alta concentración, ayudándoles a identificar el riesgo de infección.



## **5 Resumen de medidas prácticas para el funcionamiento de las instalaciones del edificio durante una epidemia**

1. Proporcione una ventilación adecuada de los espacios con aire exterior.
2. Encienda la ventilación a la velocidad nominal al menos 2 horas antes de la hora de apertura del edificio y apáguela o disminuya la velocidad 2 horas después del fin de uso del edificio.
3. Anular la configuración de ventilación controlada por demanda para obligar al sistema de ventilación a funcionar a la velocidad nominal.
4. Abra las ventanas con regularidad (incluso en edificios con ventilación mecánica)
5. Mantener la ventilación del inodoro en funcionamiento a la velocidad nominal de manera similar al sistema de ventilación principal.
6. Evite abrir las ventanas de los inodoros para mantener la presión negativa y la dirección correcta de los flujos de aire de ventilación mecánica.
7. Indique a los ocupantes del edificio que descarguen los inodoros con la tapa cerrada.
8. Cambie las unidades de tratamiento de aire con recirculación al 100% de aire exterior.
9. Inspeccione el equipo de recuperación de calor para asegurarse de que las fugas estén bajo control.
10. Asegúrese de que haya una ventilación adecuada del aire exterior en habitaciones con fan coils o unidades split.
11. No cambie los puntos de ajuste de calefacción, refrigeración y posible humidificación.
12. Realice la limpieza programada de los conductos como de costumbre (no se requiere limpieza adicional)
13. Reemplace los filtros para el aire exterior y el aire de extracción como de costumbre, de acuerdo con el programa de mantenimiento.
14. Los trabajos regulares de reemplazo y mantenimiento del filtro se deben realizar con medidas de protección comunes, incluida la protección respiratoria.
15. Introducir una red de sensores de IAQ (CO<sub>2</sub>) que permita a los ocupantes y gerentes de las instalaciones monitorear que la ventilación funcione adecuadamente.

## **Apéndice 1: Evaluación del riesgo de transmisión aérea y acciones de gran alcance para reducir la propagación de enfermedades virales en futuros edificios con sistemas de ventilación mejorados**

### **1. Introducción**

Este apéndice resume la información disponible sobre las tasas de ventilación y proporciona un método para la evaluación de riesgos de infección cruzada que se puede aplicar para habitaciones típicas en edificios no residenciales. La información disponible sobre el COVID-19 permite argumentar que la transmisión de esta enfermedad se ha asociado con la proximidad (para la cual la ventilación no es la solución) y con espacios que simplemente están mal ventilados. Esto último está respaldado por evidencia de eventos de superpropagación en los que la ventilación del aire exterior ha sido tan baja como 1-2 L/s por persona<sup>xvii, xviii</sup>, es decir, en un factor 5-10 menor que los 10 L/s por persona comúnmente recomendados en los estándares existentes. La cuestión de cuánta ventilación se necesitaría para reducir sustancialmente la transmisión aérea del SARS-CoV-2 y qué otros factores, como la distribución del aire y el tamaño de la habitación, son importantes, se discute en los siguientes párrafos. Es importante entender que este tema incluye altas incertidumbres dado que el estado actual del conocimiento y los desarrollos científicos pueden proporcionar nueva información rápidamente. El alcance de este apéndice se aplica únicamente a la reducción de la transmisión aérea de largo alcance, por lo que las soluciones de ventilación discutidas no afectan los modos de transmisión de contacto cercano y de superficie de 1-2 m.

### **2 La tasa de ventilación, el tamaño de la habitación y los efectos de la actividad sobre el riesgo de infección**

18

Como se discutió en la Sección 2, a una distancia mayor de 1,5 m de una persona infectada, el control de las concentraciones de aerosoles que contienen virus depende de las soluciones de ventilación. La dosis total cuando se expone a un virus (por ejemplo, cuando se comparte una habitación con alguien infectado) es igual al producto de la concentración y el tiempo. Por tanto, para reducir la dosis y el riesgo de infección, es necesario aumentar la ventilación y reducir el tiempo de ocupación. En los sistemas de ventilación existentes, normalmente no es posible aumentar la velocidad del ventilador de manera significativa, por lo que el sistema puede ofrecer la prestación para el que está dimensionado. A veces es posible aumentar el caudal de aire en torno a un 10-20% en total y mediante un equilibrio posiblemente más en locales específicos.

Desde un punto de vista legal, la tasa de ventilación del aire exterior debe cumplir al menos con los requisitos mínimos nacionales establecidos en el código de edificación local u otros documentos regulatorios (que también pueden incluir una regulación específica para COVID-19). Si no existe una regulación nacional de ventilación, las leyes de construcción típicamente locales siempre contendrán una disposición para "buenas prácticas de construcción", refiriéndose al uso de normas y directrices nacionales, europeas o internacionales. El valor típico de acuerdo con ISO 17772-1: 2017 y EN 16798-1: 2019 da como resultado una Categoría de ambiente interior II predeterminada a 1.5-2 L/s por m<sup>2</sup> (10-15 L/s por persona) para tasas de flujo de aire exterior en oficinas y a aproximadamente 4 L/ por m<sup>2</sup> (8-10 L/s por persona) en salas de reuniones y aulas.

La mejora de la ventilación en edificios nuevos o existentes plantea la pregunta: ¿Son suficientes las tasas de ventilación de la Categoría II o se necesita más ventilación exterior para reducir el riesgo de infección cruzada? Actualmente, el riesgo de infección no se aborda en estas normas como criterio de diseño. Por otro lado, el riesgo de infección cruzada es bien conocido y se aplica en el diseño de edificios hospitalarios donde conduce a una ventilación con una tasa de ACH de 6-12 (ver Apéndice 3). Los sistemas de ventilación hospitalaria han funcionado bien en condiciones de COVID-19

ya que las infecciones cruzadas han estado bajo control, lo que demuestra que la ventilación de alta capacidad es capaz de mantener la concentración de aerosol en un nivel bajo. En los edificios no hospitalarios, evidentemente hay tasas de emisión más bajas y un menor número de personas infectadas por área de piso. Por tanto, una tasa de ventilación más baja que en los hospitales, por ejemplo, la tasa de ventilación de categoría I, podría considerarse como un punto de partida para la reducción del riesgo. También vale la pena señalar que 4 L/s por m<sup>2</sup> en salas de reuniones y aulas corresponde a 5 ACH y no está muy por debajo de la tasa de cambio de aire de las habitaciones de los pacientes con precauciones contra los riesgos de transmisión aérea.

El riesgo de infección se puede calcular para diferentes actividades y salas utilizando un modelo estándar de transmisión de enfermedades transmitidas por el aire de Wells-Riley, calibrado para COVID-19 con la intensidad de fuente correcta, es decir, tasas de emisión de quantas. En este modelo, la carga viral emitida se expresa en términos de tasa de emisión de quantas (E, quantas/h). Un cuanto se define como la dosis de núcleos de gotitas en el aire necesaria para causar infección en el 63% de las personas susceptibles. Con el modelo de Wells-Riley, la probabilidad de infección (p) está relacionada con el número de quantas inhalados (n) según la ecuación (1) xi:

$$p = 1 - e^{-n} \quad (1)$$

Los quantas inhalados (n, quantas) dependen de la concentración de quantas promedios en el tiempo ( $C_{avg}$ , quantas/m<sup>3</sup>), la frecuencia respiratoria volumétrica de un ocupante ( $Q_b$ , m<sup>3</sup>/h) y la duración de la ocupación (D, h):

$$n = C_{avg} Q_b D \quad (2)$$

La concentración de quantas en el aire aumenta con el tiempo desde un valor inicial de cero siguiendo una forma de "uno menos exponencial", que es la respuesta dinámica estándar de un volumen interior completamente mezclado a una fuente de entrada constante. Se puede aplicar un modelo de balance de materiales completamente mixto para la habitación (ecuación (3)) para calcular la concentración:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{E}{V} - \lambda C \quad (3)$$

dónde

- E Tasa de emisión de quanta (quantas/h);
- V volumen de la habitación (m<sup>3</sup>);
- $\lambda$  coeficiente de tasa de pérdida de primer orden para quantas/h debido a los efectos sumados de la ventilación ( $\lambda_v$ , 1/h), la deposición sobre superficies ( $\lambda_{dep}$ , 1/h), la desintegración del virus (k, 1/h) y la filtración por filtro de aire si se aplica ( $k_{filtración}$ , 1/h),  $\lambda = \lambda_v + \lambda_{dep} + k + k_{filtración}$ ;
- C concentración en el aire dependiente del tiempo de cuantos infecciosos (quantas/m<sup>3</sup>).

La tasa de pérdida por deposición superficial de 0.3 l/h puede estimarse con base en datos de Thatcher y Diapouli. Para la descomposición del virus, Fears no muestra descomposición en el aerosol que contiene virus durante 16 horas a 53% de HR, mientras que Van Doremalen estimó la vida media del SARS-CoV-2 en el aire en 1.1 h, lo que equivale a una tasa de descomposición de 0.63 1/h . Un valor medio de estos dos estudios es de 0,32 l/h.

Para el filtro de aire portátil, la tasa de eliminación de filtración ( $k_{filtración}$ ) depende de la tasa de flujo de aire a través del filtro HVAC ( $Q_{filter}$ ) y la eficiencia de eliminación del filtro ( $\eta_{filter}$ ):

$$k_{filtration} = \frac{Q_{filter}\eta_{filter}}{V} \quad (4)$$

Para limpiadores portátiles con un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA), se proporciona la tasa de suministro de aire limpio (CADR,  $m^3/h$ ) y la tasa de eliminación de filtración se puede calcular como  $k_{filtración} = CADR/V$ . Cabe señalar que la eficiencia de eliminación de los filtros y el CADR dependen del tamaño de las partículas. Estos parámetros deben estimarse en función de la distribución de tamaño de las partículas que contienen virus. Los ejemplos de cálculo que se proporcionan a continuación se realizan sin filtros de aire.

Suponiendo que la concentración de quantas es 0 al comienzo de la ocupación, se resuelve la ecuación (3) y se determina la concentración promedio de la siguiente manera:

$$C(t) = \frac{E}{\lambda V} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (5)$$

$$C_{avg} = \frac{1}{D} \int_0^D C(t) dt = \frac{E}{\lambda V} \left[ 1 - \frac{1}{\lambda D} (1 - e^{-\lambda D}) \right] \quad (6)$$

dónde

t tiempo (h).

Se pueden encontrar ejemplos de cálculo en artículos que analizan el evento Skagit Valley Chorale y las tasas de generación de quantas para el SARS-CoV-2. Las tasas de emisión de quantas varían en un amplio rango de 3 a 300 quantas/h dependiendo en gran medida de las actividades, de modo que se aplican valores más altos para hablar en voz alta, gritar y cantar y también para tasas de metabolismo más altas, como se muestra en la Tabla 1. Las frecuencias respiratorias volumétricas dependen de la actividad que se está llevando a cabo como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Tasas de emisión de quantas de percentil 85 para diferentes actividades.

Actividad	Tasa de emisión de quantas, quanta/ h
Respiración oral en reposo	3.1
Actividad intensa, respiración oral	21
Actividad ligera, hablando	42
Actividad ligera, cantar (o hablar en voz alta)	270

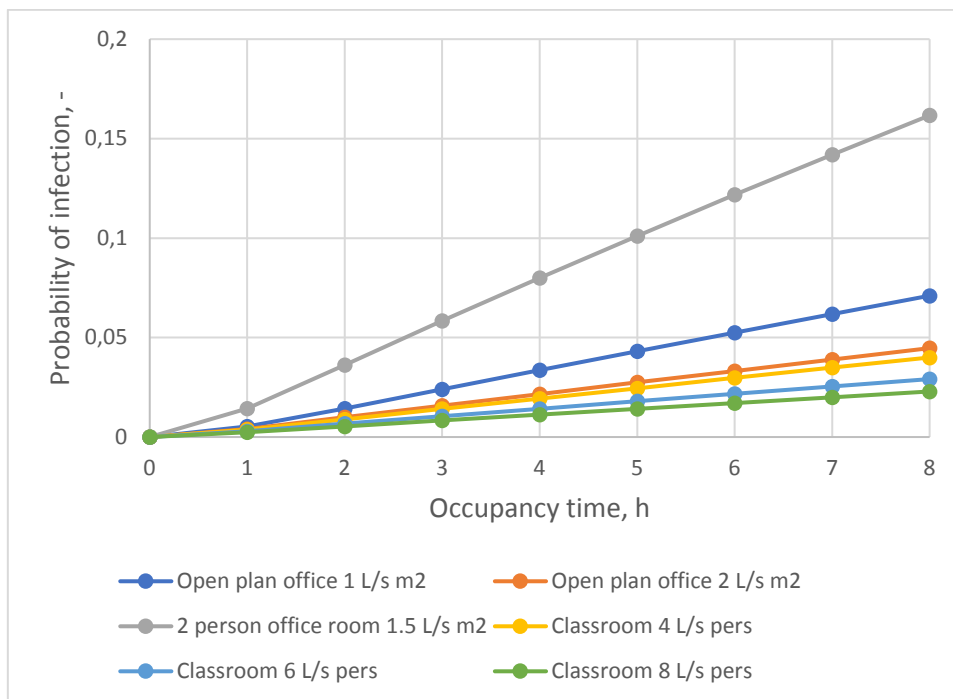
Tabla 2. Frecuencia respiratoria volumétrica.

Actividad	Tasa de respiración, $m^3/h$
De pie (oficina, aula)	0.54
Hablar (sala de reuniones, restaurante)	1.1
Ejercicio ligero (compras)	1.38
Ejercicio intenso (deportes)	3.3

Aunque los valores de emisión de quantas/h de SARS-CoV-2 incluyen algunas incertidumbres, ya es posible calcular estimaciones de riesgo de infección y realizar

comparaciones sobre el efecto de la ventilación y los parámetros de la habitación. Los resultados de dichos cálculos se muestran en la Figura 6 para las tasas de ventilación y las habitaciones de uso común. Se supone que en todas las habitaciones calculadas hay una persona infectada. Se utilizaron las siguientes tasas de emisión de quantas promediados en el tiempo calculadas a partir de las actividades que se muestran en la Tabla 1: 5 quanta/h para trabajo de oficina y ocupación de aulas, 15 quanta/h para un restaurante, 10 quanta/h para compras, 21 quanta/h para deportes y 19 quanta/h para salas de reuniones. Si bien las tasas típicas de infección por COVID-19 en la población general han estado en una magnitud de 1:1000 o 1:10.000, la suposición de que solo una persona infectada está en una habitación que es utilizada por, por ejemplo, 10 (oficina), 25 (escuela) o 100 personas (restaurante) es altamente válido.

Una evaluación de riesgos como se muestra en la Figura 6. ayuda a desarrollar una comprensión más completa de cómo los aerosoles cargados de virus pueden eliminarse mediante ventilación. Los resultados muestran que con tasas de ventilación de Categoría II según ISO 17772-1: 2017 y EN 16798-1: 2019, la probabilidad de infección es razonablemente baja (por debajo del 5%) para oficinas de planta diáfana, aulas, restaurantes bien ventilados, y para simplificar, no más de 1,5 horas de compras o reuniones en una gran sala de reuniones. Las zonas de oficinas pequeñas ocupadas por 2-3 personas y las salas de reuniones pequeñas muestran una mayor probabilidad de infección, porque incluso en salas pequeñas bien ventiladas, el flujo de aire por persona infectada es mucho menor que en las salas grandes. Por lo tanto, en una situación epidémica, las habitaciones pequeñas pueden ser ocupadas con seguridad por una sola persona. En habitaciones normalmente ventiladas ocupadas por una persona no existe ningún riesgo de infección debido a que no hay fuente de emisión. También hay una diferencia muy visible entre 1 L/s m<sup>2</sup> y 2 L/s m<sup>2</sup> de tasa de ventilación en una oficina diáfana (tenga en cuenta que 1 L/s m<sup>2</sup> está por debajo del estándar). Las actividades de hablar y cantar están asociadas con una alta generación de quantas, pero también los ejercicios físicos aumentan la generación de quantas y la frecuencia respiratoria que afecta directamente la dosis. Por lo tanto, muchas de las instalaciones deportivas cubiertas (excluidas las piscinas y los grandes salones) son espacios con mayor probabilidad de infección si no están especialmente diseñadas para altas tasas de ventilación exterior.



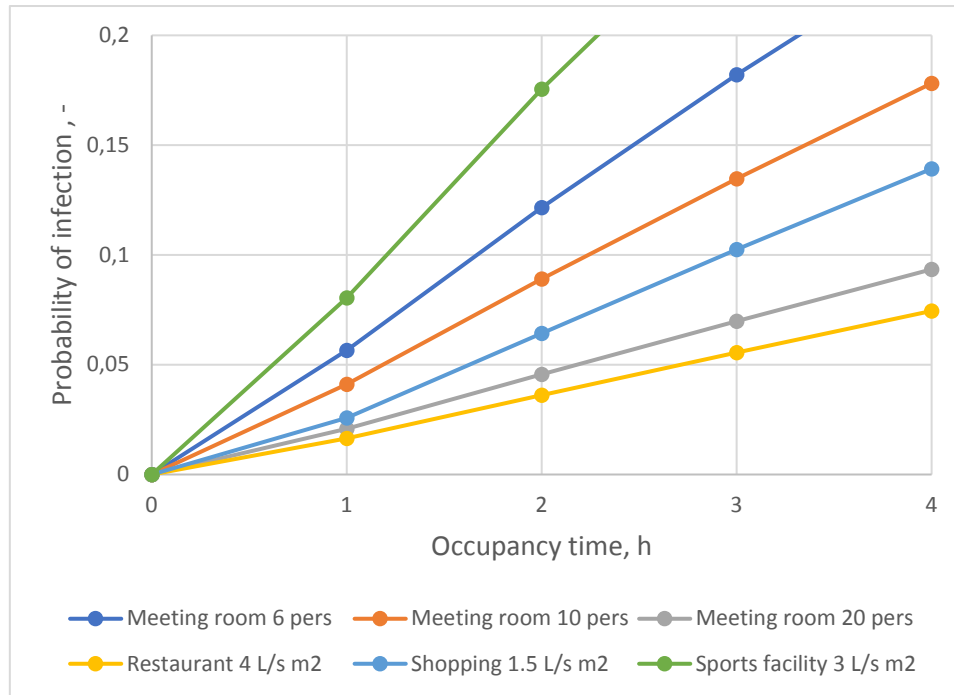


Figura 6. Evaluación del riesgo de infección para algunas habitaciones comunes no residenciales y tasas de ventilación calculadas con la calculadora de ventilación REHVA COVID-19. Se utiliza una tasa de ventilación de 1,5 L/s por m<sup>2</sup> en oficinas de 16 m<sup>2</sup> para 2 personas y 4 L/s por m<sup>2</sup> en salas de reuniones. Los datos de entrada detallados se informan en la Tabla 3.

El procedimiento de trabajo del cálculo de la probabilidad de riesgo de infección se ilustra en la Tabla 3. La tasa de flujo de aire total se calcula como un producto de L/s por valor de tasa de ventilación del área y el área del piso, por lo tanto, cuanto más grande es la habitación, mayor es la tasa de flujo de aire total por persona infectada (Se supone 1 persona infectada en todas las habitaciones). Cabe señalar que el número de ocupantes no tiene ningún efecto porque el cálculo es por persona infectada. La altura (volumen) de la habitación influye en el desarrollo de la concentración, de modo que la fuente E se enciende en el tiempo  $t = 0$  y la concentración comienza a acumularse. En el cálculo se consideró una ocupación de 8 horas y la concentración promedio se acerca bastante al estado estacionario ya que el valor entre paréntesis es superior a 0.9 en todos los casos (1.0 corresponderá al estado estacionario).

Tabla 3. Procedimiento de trabajo de cálculo de la probabilidad de riesgo de infección para los casos reportados en la Figura 6.

Case Specific Input Parameters													
	Floor area	Height	Ventilation rate per floor area	Quanta emission rate	Breathing rate	Occupancy time	Air change rate	Total first order loss rate	Room volume	x steady state concentration	Average concentration	Quanta inhaled (dose)	Probability of infection
	A (m <sup>2</sup> )	h (m)	L/(s m <sup>2</sup> )	quanta/h	m <sup>3</sup> /h	At (h)	K <sub>ves</sub> (h <sup>-1</sup> )	K <sub>tot</sub> (h <sup>-1</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	[]	quanta/m <sup>3</sup>	quanta	-
Open plan office 1 L/s m <sup>2</sup>	50	3	1	5	0.54	8	1.2	1.82	150	0.93	0.02	0.07	0.071
Open plan office 2 L/s m <sup>2</sup>	50	3	2	5	0.54	8	2.4	3.02	150	0.96	0.01	0.05	0.045
2 person office 1.5 L/s m <sup>2</sup>	16	3	1.5	5	0.54	8	1.8	2.42	48	0.95	0.04	0.18	0.162
Meeting room 6 pers	18	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	54	0.98	0.06	0.56	0.428
Meeting room 10 pers	25	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	75	0.98	0.05	0.40	0.331
Meeting room 20 pers	50	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	150	0.98	0.02	0.20	0.182
Classroom 4 L/s pers	56	3	2	5	0.54	8	2.4	3.02	168	0.96	0.01	0.04	0.040
Classroom 6 L/s pers	56	3	3	5	0.54	8	3.6	4.22	168	0.97	0.01	0.03	0.029
Classroom 8 L/s pers	56	3	4	5	0.54	8	4.8	5.42	168	0.98	0.01	0.02	0.023
Restaurant 4 L/s m <sup>2</sup>	50	3	4	15	1.1	8	4.8	5.42	150	0.98	0.02	0.16	0.147
Shopping 1.5 L/s m <sup>2</sup>	50	3	1.5	11	1.38	8	1.8	2.42	150	0.95	0.03	0.32	0.272
Sports facility 3 L/s m <sup>2</sup>	50	3	3	21	3.3	8	3.6	4.22	150	0.97	0.03	0.85	0.573

Es importante comprender las limitaciones del cálculo de probabilidad:

- Los resultados son sensibles a las tasas de emisión de quantas que pueden variar en un amplio rango, como se muestra en la Tabla 1. La incertidumbre de estos valores es alta. Además, es probable que haya superdifusores que son menos frecuentes, pero pueden tener tasas de emisión más altas (como en el caso del coro<sup>viii</sup>). Esto hace que las probabilidades absolutas de infección sean inciertas, y es mejor observar el orden de magnitud (es decir, si el riesgo es del orden de 0,1% o 1% o 10% o se aproxima al 100%). El efecto relativo de las medidas de control puede entenderse mejor a partir de este cálculo, dado el estado actual de los conocimientos;
- La probabilidad de infección calculada es un valor estadístico que se aplica a un grupo grande de personas, pero las diferencias en el riesgo individual pueden ser significativas según la situación de salud personal y la susceptibilidad del individuo;
- Asumir que la mezcla completa crea otra incertidumbre porque, en habitaciones grandes y con techos altos, la concentración de virus no es necesariamente igual en todo el volumen de la habitación. En el cálculo, se utiliza una superficie de 50 m<sup>2</sup> para una oficina diáfana. En general, las salas de hasta 4 m de altura con un volumen máximo de 300 m<sup>3</sup> podrían mezclarse razonablemente bien; sin embargo, es más preciso simular concentraciones con análisis CFD. A veces, los efectos de la convección térmica de los ocupantes pueden proporcionar una mezcla adicional en espacios altos como teatros o iglesias.

23

Estas limitaciones e incertidumbres significan que, en lugar de predecir un riesgo de infección absoluto, el cálculo es capaz de comparar la efectividad relativa de las soluciones y las estrategias de ventilación para respaldar la elección más adecuada. El modelo de cálculo puede mostrar qué estrategia ofrece la carga más baja para las personas no infectadas. El modelo se puede aplicar para mostrar habitaciones de bajo y alto riesgo en edificios existentes que es muy útil en la evaluación de riesgos de cómo se deben utilizar los edificios durante el brote. Los resultados del cálculo son fáciles de convertir a la forma de riesgo relativo. En la Figura 7, esto se hace para una oficina de planta abierta donde la tasa de ventilación de 2 L/s por persona (0.2 L/s por m<sup>2</sup>) con una densidad de ocupantes de 10 m<sup>2</sup> por persona se considera un nivel de riesgo relativo del 100%. Esta tasa de ventilación que es la mitad de un mínimo absoluto de 4 L/s por persona se puede utilizar para describir eventos de superpropagación. Los resultados de la Figura 7 muestran que una tasa de ventilación común de 2 L/s por m<sup>2</sup> reducirá el riesgo relativo al 34% y duplicar ese valor a 4 L/s por m<sup>2</sup> proporcionará una reducción adicional relativamente menor al 19%.

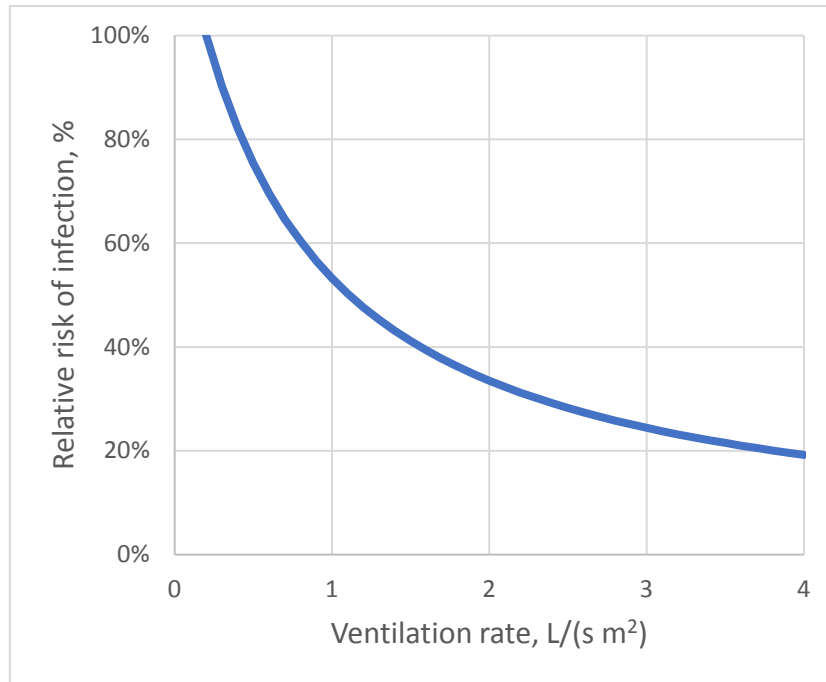


Figura 7. Riesgo relativo en oficina diáfana de 50 m<sup>2</sup> donde se considera la tasa de ventilación de 2 L / s por persona (0,2 L / s por m<sup>2</sup>) como nivel de referencia para un evento de superpropagación con 100% de riesgo relativo.

Finalmente, la Figura 7 permite estimar cuál es la diferencia entre las tasas de ventilación de Categoría II y I. Con una densidad de ocupantes de 10 m<sup>2</sup> por persona, las tasas de flujo de aire se convierten en 1.4 y 2.0 L/s por m<sup>2</sup> en las Categorías II y I respectivamente cuando se consideran materiales poco contaminantes. Por lo tanto, la ventilación de Categoría II da como resultado un riesgo relativo del 43% y la Categoría I en un 34% que muestra una mejora significativa ya que la curva tiene una pendiente bastante profunda en ese rango.

### 3 Concentración de CO<sub>2</sub> como indicador de ventilación

Una forma fácil de controlar la eficacia de la ventilación es utilizar sensores de CO<sub>2</sub> como se recomienda en la Sección 4.13. Las lecturas de CO<sub>2</sub> describen la tasa de ventilación exterior de manera adecuada bajo una densidad normal de ocupantes. Cuando las personas entran en una habitación, pasa algún tiempo antes de que la concentración se acumule y alcance el valor de estado estable. En salas bien ventiladas, la concentración de CO<sub>2</sub> aumenta rápidamente, en salas de reuniones y aulas en 30 minutos y en oficinas en menos de una hora. Más específicamente, la velocidad de incremento de concentración depende de la constante de tiempo de la habitación que es recíproca de la tasa de cambio de aire (el 63% del cambio de concentración ocurre dentro de 1 constante de tiempo y el 95% dentro de 3 constantes de tiempo). Por lo tanto, las lecturas de CO<sub>2</sub> proporcionan una indicación correcta sobre la suficiencia de ventilación después de dos constantes de tiempo.

A la misma tasa de ventilación, la concentración de CO<sub>2</sub> es menor si la ocupación se reduce, por ejemplo, debido a distanciamiento físico o medidas administrativas. La dependencia de la concentración de CO<sub>2</sub> de la densidad de ocupantes se ilustra en la Figura 8 para una oficina con dos tasas de ventilación. La ventilación de 2 L/s por m<sup>2</sup> corresponde a una buena práctica correspondiente a una Categoría I de clima interior, que es capaz de mantener la concentración de CO<sub>2</sub> por debajo de 800 ppm si hay al menos 7 m<sup>2</sup> de superficie por ocupante. En el caso de una tasa de ventilación menor de



1 L/s por m<sup>2</sup>, se necesitan al menos 10 m<sup>2</sup> por persona para mantener la concentración de CO<sub>2</sub> por debajo de 1000 ppm.

En cuanto al CO<sub>2</sub>, la conclusión es que un CO<sub>2</sub> alto indica una mala ventilación sin lugar a dudas. Un bajo nivel de CO<sub>2</sub> es bueno, pero no es por sí solo una confirmación de un bajo riesgo de transmisión de aerosoles; también se deben considerar la densidad de ocupantes, la duración de la ocupación y el tamaño de la habitación.

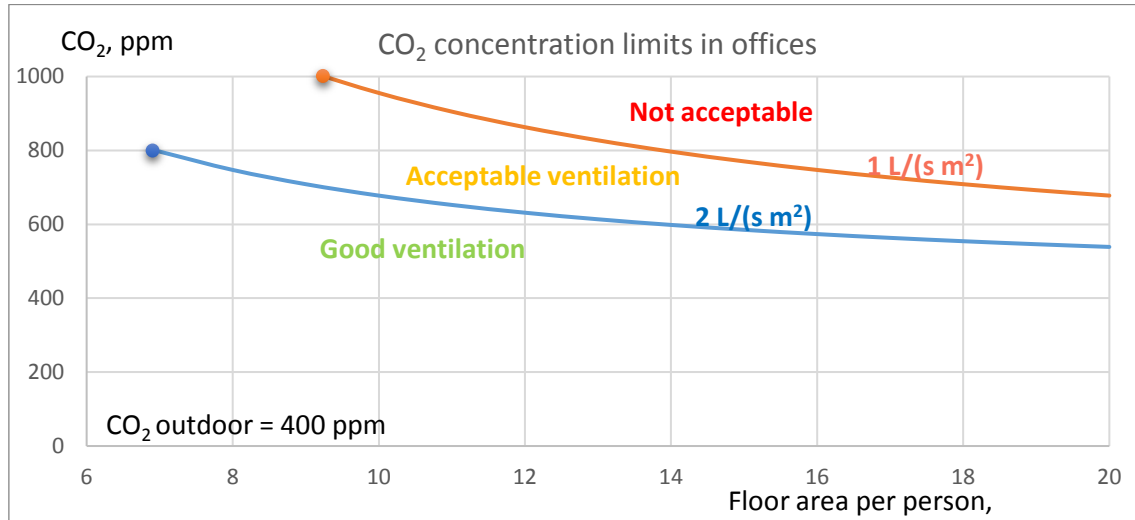
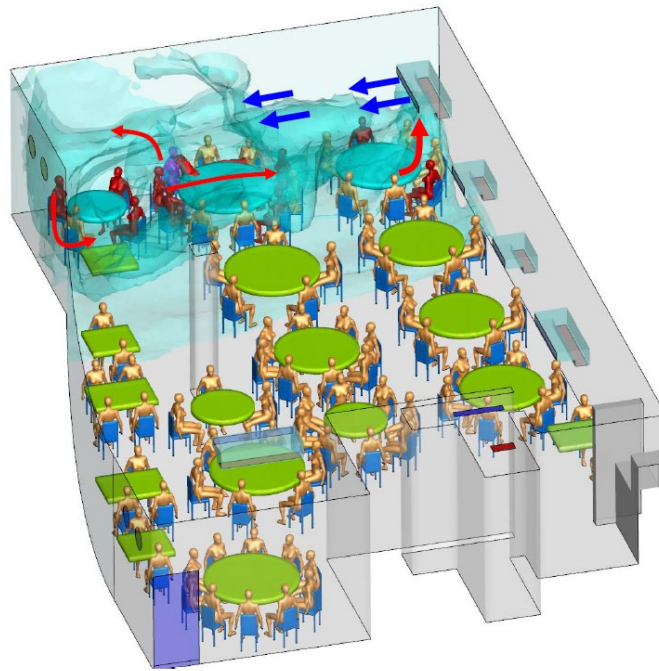


Figura 8. Dependencia de la concentración de CO<sub>2</sub> (valores absolutos que incluyen la concentración exterior) de la tasa de ventilación y ocupación en oficinas.

#### 4 Propagación y difusión por corrientes de aire dirigidas a una persona.

Si bien el movimiento de aire se trata comúnmente como una corriente de aire que es un problema de malestar térmico local, en las habitaciones con una persona infectada, esto puede adquirir un nuevo significado. Debido a estudios de un restaurante de Guangzhou y algunas infecciones previas de aviones, este fenómeno de propagación por movimiento de aire es bien conocido. Un fuerte flujo de aire dirigido hacia una persona infectada puede llevar material viral poco diluido en un aerosol hacia una persona susceptible en una concentración muy alta, lo que puede propagar el virus dentro de una parte específica de la habitación, como se muestra en la Figura 9. El ECDC aborda esta posibilidad (ver Sección 3), concluyendo que “El flujo de aire generado por las unidades de aire acondicionado puede facilitar la propagación de las gotas excretadas por personas infectadas a distancias más largas dentro de los espacios interiores”. Sin embargo, en este caso específico, no se sabe cuáles fueron las contribuciones relativas del flujo de aire dirigido de la unidad split y la mala ventilación a las infecciones en el restaurante de Guangzhou. Solo se conoce el efecto combinado de estos dos factores junto con el hecho de que la ventilación fue insignificante, siendo de solo 1 L/s por persona. Esto indica que el nivel muy bajo de ventilación fue probablemente la principal causa del brote en el restaurante.

Aunque no era probable que la unidad de aire acondicionado fuera el principal contribuyente en este caso específico, el tema del flujo de aire dirigido debería tomarse en serio en el futuro diseño de distribución de aire. Las soluciones de distribución de aire a baja velocidad que no proporcionan ni corrientes de aire fuertes ni corrientes de aire ya están ampliamente disponibles y ahora deberían aplicarse más ampliamente.



*Figura 9. Distribución de aire simulada por CFD por unidad dividida en un restaurante de Guangzhou<sup>xvii</sup>. La persona índice se muestra con azul magenta y nueve personas infectadas con rojo. (Figura: cortesía de Yuguo Li)*

La distribución del aire puede tener un efecto crucial en la concentración de material viral en el aire ambiente. Puede reducir o aumentar de forma local las concentraciones de forma notable. Varios artículos muestran que asumir aire bien mezclado en un espacio es en muchos casos una simplificación excesiva que falla cuando se trata de partículas y concentraciones de aerosoles. En algunas situaciones, aumentar la tasa de ventilación puede incluso aumentar la concentración en la zona de respiración debido a patrones de flujo de aire desfavorables. Dicha evidencia se reporta para algunos sistemas de desplazamiento y superficiales.

26

En general, el control de la concentración de aerosoles virales es una nueva consideración para la distribución del aire en la habitación, donde el material viral de una fuente puntual (una persona infectada con ubicación desconocida) debe diluirse de manera efectiva y eliminarse localmente al mismo tiempo. Por lo tanto, un sistema de distribución de aire de mezcla completa, capaz de mezclar completamente la contaminación de una fuente puntual en una y una estratificación vertical y salidas capaces de eliminar la concentración más alta antes de que se mezcle completamente, sería beneficioso por otra parte. Además, las soluciones de ventilación personal pueden ser útiles ya que ayudan a reducir las concentraciones localmente en los lugares de trabajo. No existe una forma obvia de combinar características tan contradictorias entre sí. Por lo tanto, las tasas de dilución, la eficacia de la eliminación de contaminantes y la eficiencia de los cambios de aire para todos los tipos posibles de distribución de aire, incluidas las soluciones de ventilación personal, deberían ser objeto de investigación sobre la distribución de aire. Esto debe considerar la situación de una fuente puntual ubicada al azar en lugar de una situación común con fuentes de emisión distribuidas más o menos equitativamente distribuidas en habitaciones sin personas infectadas.

## 5 Aspectos de contaminación cruzada de los sistemas de ventilación y aire acondicionado

Los altos niveles de higiene de la ventilación y la evitación estricta de cualquier contaminación cruzada son aspectos bien conocidos del diseño de ventilación industrial y hospitalaria. En otros edificios no residenciales, el problema es más especulativo debido a los contaminantes con menor riesgo y las soluciones más económicas y energéticamente eficientes utilizadas. Sin embargo, la necesidad de un control de infecciones más generalizado planteará nuevas preguntas sobre el uso de la recirculación y las posibles fugas en los equipos de recuperación de calor, así como sobre las distancias seguras entre las aberturas de aire de admisión y de escape. La recirculación es técnicamente fácil de evitar en cualquier clima y existen alternativas disponibles, como soluciones de recuperación de calor, frío y humedad más eficientes desde el punto de vista energético. Sin embargo, es posible que se necesiten más investigaciones sobre la transferencia de contaminantes. Por ejemplo, los estudios de transferencia de contaminantes de rotores (ruedas de entalpía) tienen más de 20 años, y es posible que también se necesiten más estudios sobre la transferencia de partículas y fase gaseosa y los efectos de los recubrimientos higroscópicos. Lo mismo se aplica a las tecnologías de limpieza del aire para las que la investigación y la normalización se encuentran en fase de desarrollo.

## 6 Resumen y agenda de investigación

Si bien existen muchas posibilidades para mejorar las soluciones de ventilación en el futuro, es importante reconocer que la tecnología y el conocimiento actuales ya permiten el uso de muchas habitaciones en los edificios durante un brote de tipo COVID-19 siempre que las tasas de ventilación correspondan o idealmente excedan las existentes en estándares y se lleva a cabo una evaluación del riesgo de infección cruzada (como se muestra en la Sección 2). En cuanto a las tasas de flujo de aire, una mayor ventilación siempre es mejor, pero para diluir la concentración de aerosol, la tasa de flujo de aire total en L/s por persona infectada es importante. Esto hace que los espacios grandes ventilados de acuerdo con los estándares actuales sean razonablemente seguros, pero las habitaciones más pequeñas ocupadas por menos personas y con tasas de flujo de aire relativamente bajas presentan un riesgo mayor incluso si están bien ventiladas. Limitar el número de ocupantes en habitaciones pequeñas, reducir el tiempo de ocupación y aplicar distanciamiento físico mantendrá en la mayoría de los casos la probabilidad de infección cruzada a un nivel razonable. Para futuros edificios y mejoras de ventilación, se pueden recomendar tasas de ventilación de Categoría I, ya que proporcionan una reducción significativa del riesgo en comparación con las tasas de flujo de aire de Categoría II comunes.

27

Agenda de investigación propuesta:

- La investigación futura debe abordar los aspectos de la contaminación cruzada, la distribución del aire y la capacidad de ventilación del aire exterior como la primera prioridad;
- Las soluciones de modernización rápidas y asequibles que mejoren la eficiencia de la ventilación que den como resultado la reducción del riesgo de infección deben ser un enfoque específico para los edificios existentes (que se pueden desarrollar como parte de una modernización de bajo consumo de energía y bajo carbono para cumplir los objetivos 2030/2050);
- La gestión de riesgos puede mejorarse mediante el uso exclusivo de sistemas de monitoreo de CAI diseñados no solo para detectar situaciones de alta concentración de CO<sub>2</sub>, sino también diseñados para traducir las tendencias de

concentración de CO<sub>2</sub> (dependiendo del tamaño de la habitación, un número normal de personas presentes en la habitación, etc.) en una evaluación de los riesgos de infección de Wells-Riley;

- Las agencias de financiación de la investigación y la industria deberían invertir en el desarrollo de soluciones técnicas prácticas para proteger contra la transmisión por aerosoles de enfermedades infecciosas en entornos interiores, edificios y sistemas de transporte público;
- Deben revisarse y actualizarse los códigos, normas y directrices de construcción para mejorar la preparación para futuras epidemias;
- Las acciones propuestas proporcionarán beneficios concurrentes para reducir el riesgo de transmisión aérea de enfermedades virales y la salud en general en tiempos entre epidemias.

## Apéndice 2: Inspección de intercambiadores de calor rotativos para limitar las fugas internas

El indicador principal de fuga interna de aire contaminado que sale de la habitación para suministrar aire a través del intercambiador se expresa mediante el índice de transferencia de aire de escape (EATR) en %. EATR es una función de la diferencia de presión entre el lado del aire de impulsión aguas abajo del intercambiador ( $P_{22}$ ) y el lado del aire de extracción aguas arriba del intercambiador ( $P_{11}$ ), y su valor depende del tipo de sellado y las condiciones. Pero también, la velocidad del rotor y el sector de purga tienen un impacto en EATR. El objetivo principal es mantener la sobrepresión en el lado del aire de impulsión y, de esta manera, mantener cualquier posible fuga del aire de escape (es decir,  $EATR = 0\%$ ). En las unidades de tratamiento de aire (UTA) bien equipadas, normalmente se dispone de tomas de presión para medir  $P_{11}$  y  $P_{22}$ .

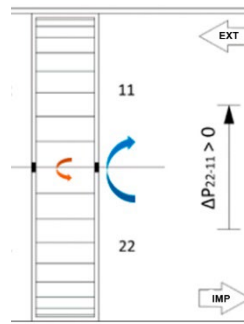


Figura 1.  $\Delta P_{22-11}$  en AHU

Para un intercambiador de calor rotatorio correctamente diseñado, configurado y mantenido, la fuga de aire de extracción potencialmente contaminado por patógenos para suministrar la corriente de aire es típicamente muy baja y sin significado práctico. Sin embargo, en el caso de una disposición incorrecta de los ventiladores de la UTA o la falta de un ajuste correcto del equilibrio de presión dentro de la UTA, la fuga puede ser significativamente mayor.

### Medidas para mantener bajas las fugas de aire de escape

La fuga de aire a través de un intercambiador de calor rotativo depende de varios factores que se describen a continuación. El personal de administración de la instalación normalmente no tiene ningún poder en la ubicación de los ventiladores, pero se deben tomar otras medidas para eliminar o minimizar las fugas durante la puesta en servicio, la inspección y el mantenimiento regular.

### Posición correcta de los ventiladores

Un requisito previo para minimizar las fugas internas es el posicionamiento correcto de los ventiladores. Las configuraciones de posición de los ventiladores disponibles se muestran en las Figuras 11-14. La configuración más recomendada incluye ambos ventiladores ubicados aguas abajo dentro del intercambiador (ver Figura 11). En esta configuración, con presiones correctamente equilibradas ( $P_{22-11} > 0$ ) y sector de purga correctamente configurado, la EATR suele estar por debajo del 1%. Por el contrario, la configuración más adversa en términos de fugas incluye ambos ventiladores en el lado del edificio (ver Figura 12). En el peor de los casos, para esta configuración, la EATR puede llegar hasta el 10-20%.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Recomendación de Eurovent 6-15. Estimación basada en datos certificados por Eurovent.

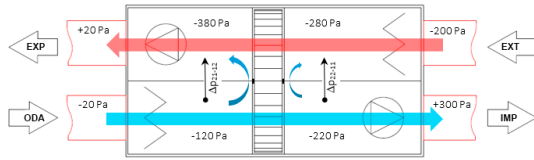


Figura 11. Mejor configuración. Ambos ventiladores tras el rotor

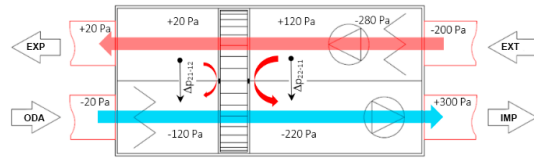


Figura 12. Ambos ventiladores en el lado del edificio

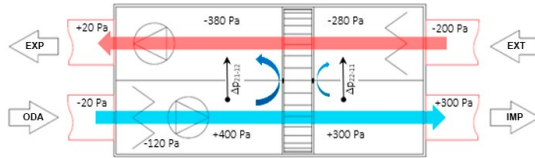


Figura 13 Ambos ventiladores en el lado exterior

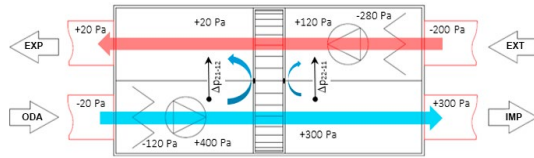


Figura 14. Ambos ventiladores aguas arriba del intercambiador.

### Diferencia de presión de equilibrio

El siguiente paso para minimizar una fuga es establecer la diferencia correcta entre las presiones  $P_{22}$  y  $P_{11}$ . La presión  $P_{11}$  debe ser al menos 20 Pa menor que la presión  $P_{22}$ . Dependiendo de la configuración de los ventiladores, esto se puede hacer estrangulando de la siguiente manera:

- Si ambos ventiladores se colocan después del rotor (Figura 11): ajuste el acelerador en el aire de extracción de modo que  $P_{11}$  se convierta en al menos  $P_{22} - 20$  Pa. Si el dispositivo de estrangulamiento (por ejemplo, el amortiguador) no está disponible en una UTA, debe ser instalado en la red de conductos.
- Ambos ventiladores en el lado del edificio (Figura 12): No hay posibilidad de utilizar la regulación en este caso.
- Ambos ventiladores en el lado exterior (Figura 13): No es necesario utilizar la regulación en este caso.
- Ambos ventiladores aguas arriba del rotor (Figura 14): ajuste el acelerador en el suministro de aire de modo que  $P_{11}$  se convierta en al menos  $P_{22} - 20$  Pa. Si el dispositivo de estrangulamiento (por ejemplo, el amortiguador) no está disponible en una UTA, debe instalarse en la red de conductos.

30

### Correcta aplicación del sector de purga, posición y ajuste

El sector de purga es un dispositivo que puede eliminar prácticamente la fuga resultante de la rotación de la rueda (fuga de arrastre). Su ubicación y configuración (ángulo) deben organizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante de la UTA, según la configuración de los ventiladores y las relaciones de presión.

### Sellado eficaz del rotor

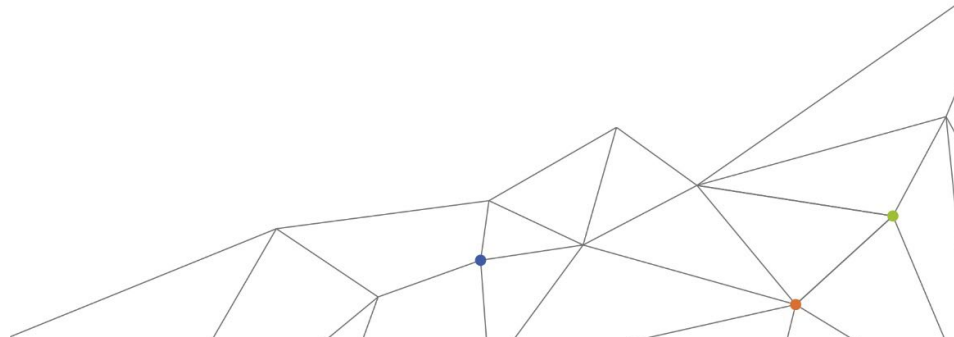
El sellado de la viga central y del perímetro evita la fuga de aire del lado de extracción al lado de impulsión. Los sellos están sujetos a desgaste y su rendimiento se deteriora con el tiempo. El estado de los sellos debe verificarse durante la inspección periódica y, si es necesario, el sello debe restaurarse a su estado original de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

$$EATR = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

Dónde,

- t11 es la temperatura de entrada del aire de escape;
- t21 es la temperatura de entrada de aire de impulsión;
- t22 es la temperatura de salida de aire de impulsión;

La fuga relacionada con la rotación de la rueda (arrastre) no se puede determinar con este método.



### Apéndice 3: Ventilación en las habitaciones de los pacientes

Los sistemas de ventilación para habitaciones especiales de pacientes, como las salas de aislamiento de infecciones transmitidas por el aire (AIIR), se han desarrollado bien para el control del riesgo de infección<sup>7</sup>. Estas habitaciones aplican dos principios: evitando la propagación de microbios transportados por el aire en las habitaciones contiguas y el área circundante y reduciendo la cantidad de microbios transportados por el aire en la habitación del paciente con una ventilación eficiente. Para evitar la propagación por transmisión aérea desde un paciente fuente a pacientes susceptibles y otras personas en la habitación del paciente, es importante mantener la habitación del paciente con presión negativa en comparación con las habitaciones adyacentes en los hospitales. Las habitaciones de pacientes con presión negativa también se conocen como 'sala de aislamiento de clase N', 'aislamiento de infecciones transmitidas por el aire' y 'unidades de aislamiento infeccioso'. Aquí se presentan algunas recomendaciones específicamente para el funcionamiento de las habitaciones de los pacientes durante los entornos hospitalarios temporales de COVID-19 de acuerdo con varias regulaciones/estándares nacionales<sup>8,9,10,11,12</sup>. En general, los sistemas de ventilación hospitalaria diseñados de acuerdo con estas regulaciones/estándares han proporcionado un control adecuado del riesgo de infecciones transmitidas por el aire para la enfermedad COVID-19, de modo que no se han informado infecciones cruzadas en los hospitales modernos.

Para áreas normales/habitaciones de pacientes:

- Las habitaciones normales para pacientes que no están destinadas a pacientes con enfermedades infecciosas, necesitan al menos 4 cambios de aire por hora (ACH).
- Si se usa como precaución contra la transmisión aérea, debe actualizarse para cumplir con el requisito de las salas de aislamiento, donde se considera que la ventilación adecuada es de al menos 6 ACH (equivalente a 40 L/s/paciente para una habitación de 4x2x3 m<sup>3</sup>).

32

Para áreas/salas temporales para pacientes con enfermedades infecciosas:

- Las instalaciones sanitarias sin suficientes salas de aislamiento individuales en los departamentos de emergencia deben designar áreas/salas separadas y bien ventiladas donde los pacientes con sospecha de COVID-19 puedan esperar.
- Si es posible, el sistema de ventilación debe actualizarse para cumplir con los requisitos de las salas de aislamiento.

Para salas de aislamiento con infecciones transmitidas por el aire:

- El aire AIIR debe salir directamente al exterior, utilizando un filtro HEPA siempre que sea posible para evitar una posible contaminación cruzada si las salidas de aire de extracción están cerca de ventanas o entradas de aire exteriores.

<sup>7</sup> Directrices para la clasificación y el diseño de salas de aislamiento en instalaciones sanitarias, Victorian Advisory Committee on Infection Control 2007.  
[http://docs2.health.vic.gov.au/docs/doc/4AAF777BF1B3C40BCA257D2400820414/\\$FILE/070303\\_DHS\\_ISO%20Room Guide\\_web.pdf](http://docs2.health.vic.gov.au/docs/doc/4AAF777BF1B3C40BCA257D2400820414/$FILE/070303_DHS_ISO%20Room%20Guide_web.pdf)

<sup>8</sup> Estándar ASHRAE 170-2013

<sup>9</sup> VDI 6022 <https://www.vdi.de/richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-6022>

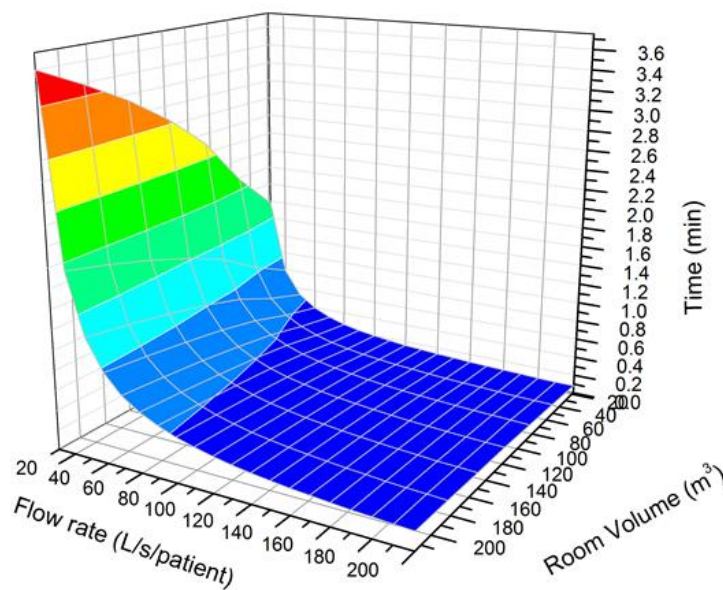
<sup>10</sup> <https://www.fhi.no/publ/eldre/isoleringsveilederen/>

<sup>11</sup> <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/appendix/air.html#tableb2>

<sup>12</sup> <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-IPC-2020.4>



- Asegúrese de que los conductos de suministro de aire sean independientes del sistema común de suministro de aire del edificio.
- La tasa de flujo de aire de suministro debe ser de 6-12 ACH (por ejemplo, equivalente a 40-80 L/s/paciente para una habitación de 4x2x3 m<sup>3</sup>) para las habitaciones de aislamiento existentes, idealmente al menos 12 ACH para las nuevas construcciones. Consulte la Figura 15 para ver una ilustración del efecto de las altas tasas de flujo de aire.
- La diferencia de presión negativa recomendada es  $\geq 5$  Pa para garantizar que el aire fluya desde el pasillo hacia la habitación del paciente.
- El aire de extracción debe ubicarse directamente sobre la cama del paciente en el techo o en la pared.
- Asegúrese de que la habitación sea lo más hermética posible
- El aire extraído de la habitación del paciente y el inodoro no debe recircular y devolverse a la habitación.
- Instale una alarma sonora local o un medio visual local en caso de falla del ventilador y no se mantenga la presión diferencial negativa.
- Un sistema de extracción separado dedicado a cada habitación que elimina una cantidad de aire mayor que la del sistema de impulsión.
- Si es posible, se debe usar antesala o esclusa de aire para evitar la transmisión de agentes infecciosos desde la apertura de la puerta del AIIR.



33

Figura 15. Ilustración de altas tasas de flujo de aire. Es hora de reemplazar el aire de la habitación en función del caudal de aire y el volumen de la habitación.

Si se usa ventilación natural, se recomiendan tasas de ventilación más altas debido al funcionamiento inestable de la ventilación donde no se puede garantizar una ventilación suficiente en todo momento. La ventilación natural es adecuada para su uso solo en condiciones climáticas favorables. La OMS proporciona una guía completa sobre ventilación natural.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Ventilación natural para el control de infecciones en entornos sanitarios. OMS 2009. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/natural\\_ventilation.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation.pdf)

## Apéndice 4 - COVID-19 Orientación sobre instalaciones y ventilación para el personal escolar

En este documento resumimos los consejos sobre el funcionamiento y uso de las instalaciones del edificio en las escuelas, con el fin de prevenir la propagación del virus de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) (SARS-CoV-2). Esta guía se centra en los directores de escuela, maestros y administradores de instalaciones.

Antes de tomar medidas preventivas, se requiere un conocimiento básico de la transmisión de agentes infecciosos. En relación al COVID-19 se pueden distinguir cuatro rutas de transmisión:

1. en estrecho contacto de 1 a 2 m a través de grandes gotas y aerosoles (al estornudar, toser o hablar);
2. a través del aire a través de aerosoles (pequeñas gotas desecadas), que pueden permanecer en el aire durante horas y pueden ser transportados a grandes distancias (liberados al respirar, hablar, estornudar o toser);
3. por contacto superficial (mano a mano, mano a superficie, etc.);
4. por vía fecal-oral.

En la Sección 2 de este documento se pueden encontrar más antecedentes sobre las rutas de transmisión del SARS-CoV-2.

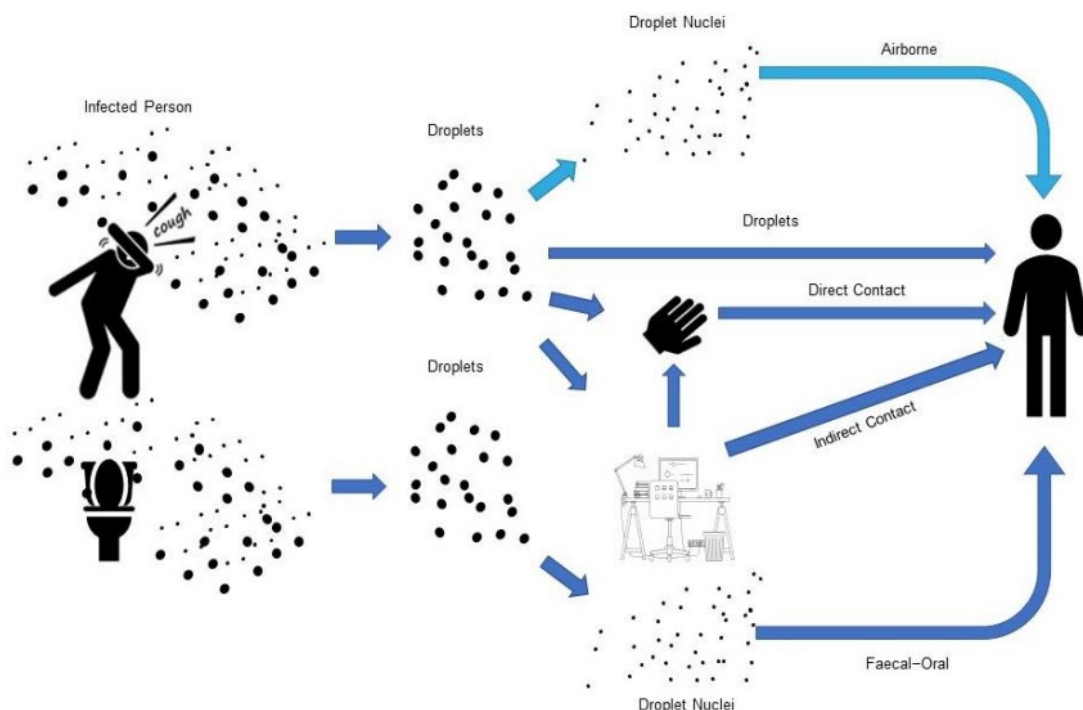


Figura 16. Mecanismos de exposición de las gotitas COVID-19 SARS-CoV-2. (Figura: cortesía de Francesco Franchimon)

Orientaciones generales para trabajadores y propietarios de edificios se presenta p. Ej. el documento de la OMS "Guía para la prevención y el control de COVID-19 en las escuelas" y las directrices generales se centran en el seguimiento de los síntomas, el mantenimiento de la distancia y las buenas prácticas de higiene (rutas de transmisión a través de gotas grandes y por contacto con la superficie). Para mantener el riesgo de infección tan bajo como sea razonablemente posible, recomendamos además medidas de ventilación (transmisión aérea) e instalaciones sanitarias (transmisión fecal-oral).

## Ventilación

En muchas escuelas europeas, la ventilación suficiente es un desafío. Hoy en día, muchas escuelas en Europa tienen ventilación natural (por ejemplo, mediante ventanas). La ventilación natural depende significativamente de la diferencia de temperatura entre el aire interior y el ambiente y la situación del viento. Como resultado, no se puede garantizar una ventilación natural suficiente en todo momento. Los sistemas de ventilación mecánica pueden garantizar un intercambio de aire continuo durante todo el año.

A continuación se dan algunas instrucciones prácticas para optimizar la ventilación a corto plazo:

- Asegure la ventilación de los espacios con aire exterior. Compruebe si los sistemas de ventilación de las aulas, ya sean naturales o mecánicos, funcionan bien:
  - Compruebe si se pueden abrir ventanas y rejillas;
  - Limpiar las rejillas de ventilación para que no se obstruya el suministro de aire;
  - Haga que su empresa de mantenimiento compruebe el funcionamiento de los sistemas de ventilación mecánica;
- Instale un monitor de CO<sub>2</sub> con indicador de semáforo (Figura 17) al menos en las aulas en las que la ventilación depende de la apertura de ventanas y/o rejillas exteriores. Esto visualiza la necesidad de ventilación adicional abriendo ventanas. Asegúrese de que el monitor de CO<sub>2</sub> esté colocado en una posición visible en el aula, lejos de las entradas de aire fresco (por ejemplo, ventanas abiertas), generalmente en la pared interna a una altura de la zona ocupada de aproximadamente 1,5 m. En tiempos de COVID-19, sugerimos cambiar temporalmente la configuración predeterminada del indicador del semáforo (luz amarilla / naranja hasta 800 ppm y luz roja hasta 1000 ppm) para promover la mayor ventilación posible.

35

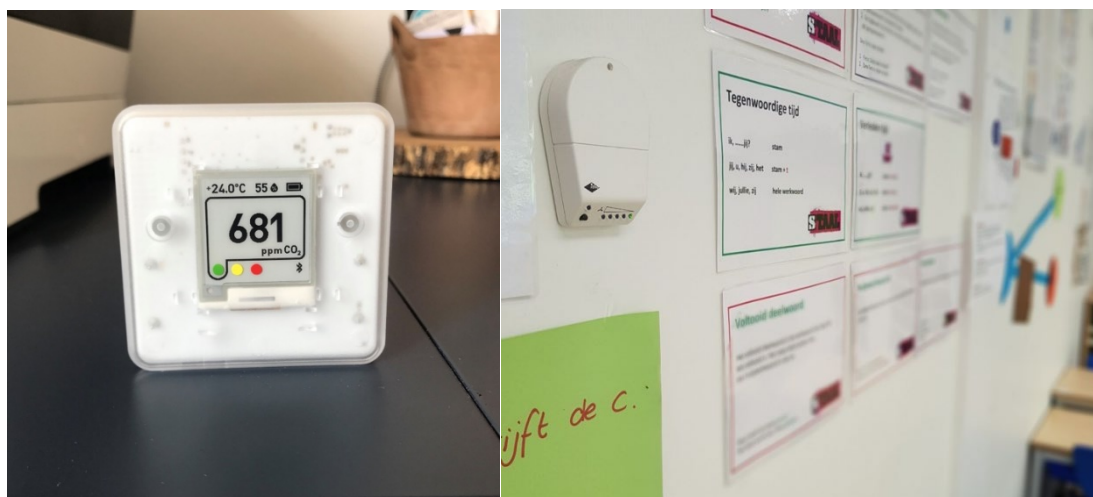


Figura 17. Ejemplos de monitores de CO<sub>2</sub> con indicador de semáforo que muestran la calidad del aire interior.

- Verificar el horario de funcionamiento de los sistemas de ventilación mecánica. Cambie la ventilación a la velocidad nominal al menos 2 horas antes de que comience la escuela y apague o reduzca la velocidad 2 horas después de la ocupación. Mantenga la ventilación del inodoro a la velocidad nominal de manera similar al sistema de ventilación principal.<sup>14</sup>

- Cambiar las unidades de tratamiento de aire con recirculación central a aire 100% exterior.
- Ajuste los puntos de ajuste de los sistemas de ventilación controlados por CO<sub>2</sub> (si están presentes). Con estos sistemas, la cantidad de intercambio de aire se reduce automáticamente con una menor ocupación para ahorrar energía. Para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas se necesita una ventilación completa, incluso si solo una parte de los estudiantes está presente. Pregunte a su empresa de mantenimiento si hay ventilación controlada por CO<sub>2</sub> en su edificio. Generalmente, también son ellos los que ajustan las consignas.
- Dar instrucciones a los maestros sobre cómo usar las instalaciones de ventilación:
  - Abra las ventanas y rejillas de ventilación tanto como sea posible durante el horario escolar. Abrir las ventanas justo debajo del techo reduce el riesgo de corrientes de aire. En habitaciones con impulsión y extracción de aire mecánicos, esto generalmente no es necesario, pero la ventilación adicional es positiva y no interrumpe el sistema de ventilación.
  - Asegúrese de ventilar regularmente las ventanas durante los descansos (también en edificios con ventilación mecánica).
  - Asegúrese de que las instalaciones de ventilación no estén obstruidas o bloqueadas por cortinas o muebles.
  - Esté atento a los monitores de CO<sub>2</sub> instalados (pida ayuda a los alumnos). Tenga en cuenta que se liberan más aerosoles durante actividades como cantar o hacer deporte.
  - Utilice sistemas de refrigeración locales, como fan coils o unidades split, como suele hacer<sup>15</sup>. Sin embargo, asegúrese de que siempre haya suministro de aire exterior mediante sistemas de ventilación mecánica o ventanas que se puedan abrir.



*Figura 18. Abra las ventanas tanto como sea posible durante el horario escolar y asegúrese de ventilar durante los descansos.*

<sup>14</sup> En la Sección 4.1 se proporciona una guía de operación de ventilación más detallada.

<sup>15</sup> En la Sección 4.6 se proporciona una guía más detallada sobre fan coils y unidades divididas.

A largo plazo, obviamente tiene sentido mejorar estructuralmente la ventilación, ya que la mala calidad del aire interior provoca, entre otros, dolor de cabeza, fatiga y reducción del rendimiento del aprendizaje.

Algunos contratistas y empresas de mantenimiento ofrecen ahora reemplazar los filtros, pero esto NO es necesario para reducir los riesgos de infección. Solo reemplace los filtros cuando sea necesario o ya esté planeado. Además, se habla de enfriamiento y humidificación del aire. Ajustar los puntos de ajuste del sistema climático a valores más bajos NO es necesario e inútil en las escuelas. Lo mismo ocurre con la colocación de humidificadores, porque NO hay evidencia de que esto sea efectivo. Concéntrese en las cosas que realmente importan, como la ventilación adecuada.

## Sistema Sanitario

Puntos de atención para las instalaciones sanitarias (grifos, inodoros, alcantarillado):

- Descargue todos los inodoros, grifos de agua y duchas antes de que la escuela vuelva a abrir. Si los grifos de agua no se han usado durante varias semanas, el agua que todavía está en las tuberías puede ser de mala calidad.
- Compruebe si los grifos de agua de todos los inodoros están en condiciones de funcionamiento (con dispensadores de jabón y toallas de papel) o proporcione otras instalaciones para desinfectar las manos después de usar el baño.
- Sustituya los grifos de agua de uso frecuente por grifos con sensor, para que puedan utilizarse sin tocarlos.
- Asegúrese de que los desagües del piso no se sequen para evitar una conexión abierta al alcantarillado. Llene los desagües regularmente con agua. Agregue un poco de aceite para evitar que el sello de agua se evapore rápidamente.
- Dé las instrucciones para descargar los inodoros con la tapa cerrada y lavarse las manos después de usar el inodoro.

37

## Más información

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

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/guidance-for-schools-workplaces-institutions>

[https://www.unicef.org/media/66216/file/Key%20Messages%20and%20Actions%20for%20COVID-19%20Prevention%20and%20Control%20in%20Schools\\_March%202020.pdf?sfvrsn=baf81d52\\_4](https://www.unicef.org/media/66216/file/Key%20Messages%20and%20Actions%20for%20COVID-19%20Prevention%20and%20Control%20in%20Schools_March%202020.pdf?sfvrsn=baf81d52_4)

## Comentarios

Si es un especialista en los temas tratados en este documento y tiene comentarios o sugerencias de mejora, no dude en contactarnos a través de [info@rehva.eu](mailto:info@rehva.eu). Por favor, mencione "documento provisional COVID-19" como asunto cuando nos envíe un correo electrónico.

## Colofón

Este documento fue preparado por el Grupo de Trabajo COVID-19 del Comité de Tecnología e Investigación de REHVA, basado en la primera versión de la guía desarrollada en el período comprendido entre el 6 y el 15 de marzo de 2020 por voluntarios de REHVA.

Los miembros del Grupo de Trabajo son:

**Prof. Jarek Kurnitski**, Presidente del Grupo de Trabajo REHVA COVID-19, Universidad Tecnológica de Tallin, Presidente del Comité de Investigación y Tecnología de REHVA

**Dr. Atze Boerstra**, vicepresidente de REHVA, director gerente bba binnenmilieu

**Dr. Francesco Franchimon**, director gerente Franchimon ICM

**Igor Sikonczyk**, director senior de asuntos técnicos y regulatorios de Eurovent

**Ir. Froukje van Dijken**, especialista en construcción saludable en bba binnenmilieu

**Prof. Catalin Lungu**, vicepresidente de REHVA, vicepresidente de AIIR

**Prof. Guangyu Cao**, Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU)

**Dr. Hywel Davies**, director técnico de CIBSE

**Prof. em. Olli Seppänen**, Universidad de Aalto

**Frank Hovorka**, presidente de REHVA, director de tecnología e innovación FPI, París

**Jaap Hogeling**, gerente de Proyectos Internacionales en ISSO

**Prof. Ivo Martinac**, vicepresidente de REHVA, KTH Royal Institute of Technology

**Prof. Livio Mazzarella**, Universidad Politécnica de Milán

**Prof. em. Francis Allard**, Universidad de La Rochelle

**Henk Kranenberg**, vicepresidente de Eurovent, director senior de Daikin Europe NV

**Mikael Borjesson**, vicepresidente de la Asociación Eurovent, director de competencias de Swegon Group

**Francesco Scuderi**, secretario general adjunto de la Asociación Eurovent

**Prof. Dra. Marija S. Todorovic**, Universidad de Belgrado Serbia

**Dr. Benoit Sicre**, Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Lucerna

**Prof. Manuel Gameiro da Silva**, vicepresidente de REHVA, Universidad de Coimbra

**Kemal Gani Bayraktar**, vicepresidente de REHVA, director de marketing de Izocam

**Juan Travesi Cabetas**, vicepresidente de REHVA, vicepresidente de ATECYR

**Prof. Manuel Ruiz de Adana**, Comité Técnico ATECYR. Universidad de Córdoba

**Prof. Pedro G. Vicente Quiles**, Presidente del Comité Técnico de ATECYR. Universidad Miguel Hernández de Elche

**Profesora Cristina Tanasa**, Universidad Politécnica de Timisoara

**Ioan Silviu Dobosi**, AIIR - Asociación rumana de ingenieros de servicios de construcción

Este documento fue revisado por el profesor Yuguo Li de la Universidad de Hong Kong, la profesora Shelly Miller de la Universidad de Colorado Boulder, el profesor Pawel Wargocki de la Universidad Técnica de Dinamarca, la profesora Lidia Morawska de la Universidad Tecnológica de Queensland y el Dr. Jovan Pantelic de la Universidad de California Berkeley.

## Literatura

- <sup>i</sup> Monto, 1974. Medical reviews. Coronaviruses. The Yale Journal of Biology and Medicine 47(4): 234–251.
- <sup>ii</sup> Doremalen et al, 2013. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. European communicable disease bulletin 18(38): 1-4.
- <sup>iii</sup> Ijaz et al, 1985. Survival Characteristics of Airborne Human Coronavirus 229E. Journal of General Virology 66(12): 2743-2748.
- <sup>iv</sup> Casanova et al, 2010. Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Coronavirus Survival on Surfaces. Applied and Environmental Microbiology 76(9): 2712–2717
- <sup>v</sup> Doremalen et al, 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. N Engl J Med 2020; 382:1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973
- <sup>vi</sup> Li et al, 2005a. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. Indoor Air 15(2): 83-95.
- <sup>vii</sup> Li et al, 2005b. Multi-zone modeling of probable SARS virus transmission by airflow between flats in Block E, Amoy Gardens. Indoor Air 15(2): 96-111.
- <sup>viii</sup> Luongo et al, 2016. Role of mechanical ventilation in the airborne transmission of infectious agents in buildings. Indoor Air 25(6): 666-678.
- <sup>ix</sup> Li et al, 2007. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment – a multidisciplinary systematic review. Indoor Air 17(1): 2-18.
- <sup>x</sup> Xie et al, 2007. How far droplets can move in indoor environments – revisiting the Wells evaporation–falling curve. Indoor Air 2007; 17: 211–225.
- <sup>xi</sup> Nicas et al, 2005. Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2: 143–154.
- <sup>xii</sup> Liu et al, 2017. Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. Indoor Air 2017; 27: 452–462, <https://doi.org/10.1111/ina.12314>
- <sup>xiii</sup> Nielsen V. P., et al. 2008. Contaminant flow in the microenvironment between people under different ventilation conditions. SL-08-064, ASHRAE Transactions, 632-638.
- <sup>xiv</sup> WHO, COVID-19 technical guidance: Guidance for schools, workplaces & institutions. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/guidance-for-schools-workplaces-institutions> (Retrieved March 21, 2020)
- <sup>xv</sup> Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare. Q & A on novel coronavirus (for general public)
- <sup>xvi</sup> Nishiura et al, 2020. medRxiv, <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>
- <sup>xvii</sup> Li et al, 2020. Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. Preprint, <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728>
- <sup>xviii</sup> Miller et al, 2020. Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. Preprint <https://doi.org/10.1101/2020.06.15.20132027>
- <sup>xix</sup> Allen and Marr, 2020. Re-thinking Potential for Airborne Transmission of SARS-CoV-2. Preprints 2020, 2020050126 (doi: 10.20944/preprints202005.0126.v1)
- <sup>xx</sup> Morawska et al, 2020. How can airborne transmission of COVID-19 indoors



- be minimised? Environment International, 142.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- <sup>xxi</sup> ECDC 2020a. Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19. European Centre for Disease Prevention and Control, Technical report, 22 June 2020. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/heating-ventilation-air-conditioning-systems-covid-19>
  - <sup>xxii</sup> Robert-Koch-Institut, 2020.  
[https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html)
  - <sup>xxiii</sup> Morawska and Milton, et al, 2020. It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. Clinical Infectious Diseases. 10.1093/cid/ciaa939.  
<https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
  - <sup>xiv</sup> WHO, 2020d. Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. Scientific Brief, 9 July 2020.  
<https://www.who.int/publications/i/item/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>
  - <sup>xv</sup> US CDS press release: <https://www.cdc.gov/media/releases/2020/s0522-cdc-updates-covid-transmission.html>
  - <sup>xvi</sup> WHO, 2020b. Water, sanitation, hygiene and waste management for COVID-19. World Health Organization, Geneva.
  - <sup>xvii</sup> Hung, 2003. The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned? Journal of the Royal Society of Medicine 96(8): 374-378.
  - <sup>xviii</sup> WHO, 2020a. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). World Health Organization, Geneva.
  - <sup>xxix</sup> Zhang et al, 2020. Molecular and serological investigation of 2019- nCoV infected patients: implication of multiple shedding routes. Emerging Microbes & Infections 9(1): 386-389.
  - <sup>xxx</sup> Guan W-J et al, 2020. Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China. I J Med. 2020 Apr 30;382(18):1708-1720. doi: 10.1056/NEJMoa2002032.
  - <sup>xxxi</sup> Wenzhao et al, 2020. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. Building and Environment 176 (2020) 106859.
  - <sup>xxxii</sup> Fennelly KP, 2020. Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. *Lancet Respir Med* 2020. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30323-4](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30323-4)
  - <sup>xxxiii</sup> US CDS 2015. Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention.
  - <sup>xxxiv</sup> Guidelines for the implementation of non-pharmaceutical interventions against COVID-19. European Centre for Disease Prevention and Control, 24 September 2020. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-guidelines-non-pharmaceutical-interventions>
  - <sup>xxxv</sup> Chin et al, 2020. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. The Lancet Microbe. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
  - <sup>xxxvi</sup> Doremalen et al, 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. N Engl J Med 2020; 382:1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973
  - <sup>xxxvii</sup> Morawska, 2006. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? Indoor Air 16(2): 335-347.
  - <sup>xxxviii</sup> Salah et al, 1988. Nasal mucociliary transport in healthy subjects is slower when breathing dry air. European Respiratory Journal 1(9): 852-855.
  - <sup>xxxix</sup> Kudo et al, 2019. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. PNAS: 1-6
  - <sup>xl</sup> Milton et al, 2001. Risk of Sick Leave Associated with Outdoor Air Supply

- Rate, Humidification, and Occupant Complaints. *Indoor Air* 2001. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004212.x>
- <sup>xLi</sup> ISO 17772-1:2017 and EN 16798-1:2019
  - <sup>Xlii</sup> Han et al, 2005. An Experimental Study on Air Leakage and Heat Transfer Characteristics of a Rotary-type Heat Recovery Ventilator. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration* 13(2): 83-88.
  - <sup>xliii</sup> Carlsson et al, 1995. State of the art Investigation of rotary air-to-air heat exchangers. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Energiteknik (Energy Engineering) SP RAPPORT 1995:24.
  - <sup>xliv</sup> Ruud, 1993. Transfer of Pollutants in Rotary Air-to-air Heat Exchangers, A Literature Study/ State-of-the-art Review. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (The Swedish National Testing and Research Institute) Energiteknik (Energy Engineering) SP RAPPORT 1993:03
  - <sup>xlv</sup> Wargocki, P., & Faria Da Silva, N. A. (2012). Use of CO<sub>2</sub> feedback as a retrofit solution for improving air quality in naturally ventilated classrooms. *Healthy Buildings*, Brisbane, Australia.
  - <sup>xlvi</sup> Sipolla MR, Nazaroff WW, 2003. Modelling particle loss in ventilation ducts. *Atmospheric Environment*. 37(39-40): 5597-5609.
  - <sup>xlvii</sup> Fisk et al, 2002. Performance and costs of particle air filtration technologies. *Indoor Air* 12(4): 223-234. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2002.01136.x>
  - <sup>xlviii</sup> Best et al, 2012. Potential for aerosolization of *Clostridium difficile* after flushing toilets: the role of toilet lids in reducing environmental contamination risk. *The Journal of hospital infection* 80(1):1-5.
  - <sup>xlix</sup> La Mura et al, 2013. Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems. REHVA GB 18.
  - <sup>l</sup> <https://www.hse.gov.uk/coronavirus/legionella-risks-during-coronavirus-outbreak.htm>
  - <sup>li</sup> CIBSE 2020, <https://www.cibse.org/coronavirus-covid-19/emerging-from-lockdown>
  - <sup>lii</sup> ECDC 2020b, <https://www.ecdc.europa.eu/en/legionnaires-disease>
  - <sup>liii</sup> ESCMID 2017, [https://www.escmid.org/fileadmin/src/media/PDFs/3Research\\_Projects/ESGLI/ESGLI\\_European\\_Technical\\_Guidelines\\_for\\_the\\_Prevention\\_Control\\_and\\_Investigation\\_of\\_Infections\\_Caused\\_by\\_Legionella\\_species\\_June\\_2017.pdf](https://www.escmid.org/fileadmin/src/media/PDFs/3Research_Projects/ESGLI/ESGLI_European_Technical_Guidelines_for_the_Prevention_Control_and_Investigation_of_Infections_Caused_by_Legionella_species_June_2017.pdf)
  - <sup>liv</sup> Yang W, Marr LC. Dynamics of airborne influenza A viruses indoors and dependence on humidity. *PLoS ONE*. 2011;6:e21481
  - <sup>lv</sup> Thatcher TL, Lai ACK, Moreno-Jackson R, Sextro RG, Nazaroff WW. Effects of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors. *Atmospheric Environment*. 2002;36:1811–1819.
  - <sup>lvi</sup> Diapouli E, Chaloulakou A, Koutrakis P. Estimating the concentration of indoor particles of outdoor origin: A review. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2013;63:1113–1129.
  - <sup>lvii</sup> Fears AC, Klimstra WB, Duprex P, et al. Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions. *medRxiv* 2020 preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.13.20063784>.
  - <sup>lviii</sup> Miller et al, 2020 Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air*, <https://doi.org/10.1111/ina.12751>
  - <sup>lix</sup> G. Buonanno, L. Stabile, L. Morawska. (2020) Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment International* 141.
  - <sup>lx</sup> Buonanno G, Morawska L, Stabile L, 2020. Quantitative assessment of the

risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: prospective and retrospective applications. *Environment International* 145 (2020) 106112

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106112>

- <sup>lxi</sup> Adams, W.C., 1993. Measurement of Breathing Rate and Volume in Routinely Performed Daily Activities. Final Report. Human Performance Laboratory, Physical Education Department, University of California, Davis. Prepared for the California Air Resources Board, Contract No. A033-205.
- <sup>lxii</sup> Binazzi B, Lanini B, Bianchi R, et al. 2006. Breathing pattern and kinematics in normal subjects during speech, singing and loud whispering. *Acta Physiologica*. 2006; 186: 233–246.
- <sup>lxiii</sup> Jovan Pantelic & Kwok Wai Tham (2013) Adequacy of air change rate as the sole indicator of an air distribution system's effectiveness to mitigate airborne infectious disease transmission caused by a cough release in the room with overhead mixing ventilation: A case study, *HVAC&R Research*, 19:8, 947-961, DOI: 10.1080/10789669.2013.842447
- <sup>lxiv</sup> Zhecho D. Bolashikov , Arsen K. Melikov , Wojciech Kierat , Zbigniew Popiolek & Marek Brand (2012) Exposure of health care workers and occupants to coughed airborne pathogens in a double-bed hospital patient room with overhead mixing ventilation, *HVAC&R Research*, 18:4, 602-615 <https://doi.org/10.1080/10789669.2012.682692>