



Documento de Posicionamiento de ASHRAE sobre Aerosoles Infecciosos

Traducido bajo licencia de ASHRAE.

Aprobado por el Comité de Dirección (BOD) de ASHRAE
el 14 de abril del 2020

Caduca
el 14 de abril del 2023

MIEMBROS DEL COMITÉ

El Documento de Posicionamiento de ASHRAE sobre Aerosoles Infecciosos ha sido desarrollado por el Comité de Documentos de Posicionamiento sobre Salud Ambiental de la Sociedad constituido el 24 de abril del 2017, con Erica Steward como presidente.

Erica J. Stewart
Kaiser Permanente
Pasadena, CA, USA

Lawrence J. Schoen
Schoen Engineering Inc.
Columbia, MD, USA

Kenneth Mead
National Institute for Occupational Safety and Health
Cincinnati, OH, USA

Chandra Sekhar
National University of Singapore
Singapore, Singapore

Russell N. Olmsted
Trinity Health
Livonia, MI, USA

Walter Vernon
Mazzetti
San Francisco, CA, USA

Jovan Pantelic
University of California at Berkeley
Berkeley, CA, USA

Miembros anteriores y colaboradores:

Yuguo Li
The University of Hong Kong
Hong Kong, China

Zuraimi M. Sultan
Berkeley Education Alliance for Research
in Singapore (BEARS) Ltd.
Singapore, Singapore

Los presidentes de los Centros de Servicios de Salud y Salud Ambiental han actuado como miembros ex-officio.

Wade Conlan
Environmental Health Committee
Hanson Professional Services
Maitland, FL, USA

“

HISTORIA DE LAS FECHAS DE REVISIÓN/CONFIRMACIÓN/REVOCACIÓN

Resumen de las fechas de revisión, confirmación y revocación:

24/6/2009—El Comité de Dirección (BOD) aprueba el Documento de Posicionamiento titulado “Airborne Infectious Diseases”

25/1/2012—El Comité Tecnológico aprueba la confirmación del Documento de Posicionamiento titulado “Airborne Infectious Diseases”

19/1/2014—El Comité de Dirección (BOD) aprueba la revisión del Documento de Posicionamiento titulado “Airborne Infectious Diseases”

31/1/2017—El Comité Tecnológico aprueba la confirmación del Documento de Posicionamiento titulado “Airborne Infectious Diseases”

5/2/2020—El Comité Tecnológico aprueba la confirmación del Documento de Posicionamiento titulado “Airborne Infectious Diseases”

14/4/2020—El Comité de Dirección (BOD) aprueba la revisión del Documento de Posicionamiento titulado “Aerosoles Infecciosos”

Nota: El Comité Tecnológico y el “cognizant committee” recomiendan la revisión, confirmación y revocación cada 30 meses.

This position document has been translated by permission © 2020 ASHRAE. Translation by Jesús de Lara and Andrés Sepúlveda from the ASHRAE Spain Chapter. ASHRAE assumes no responsibility for accuracy of the translation. To purchase the English-language edition, contact ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org.

Este documento de posicionamiento ha sido traducido bajo los derechos de autor © 2020 y con la debida autorización de ASHRAE. La traducción ha sido realizada por Jesús de Lara y Andrés Sepúlveda del ASHRAE Spain Chapter. ASHRAE no asume ninguna responsabilidad respecto a la fidelidad de la traducción. Para adquirir la edición en inglés contacte con ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org.

Nota: Los documentos de posicionamiento de ASHRAE están aprobados por el Comité de Dirección (BOD) de ASHRAE y expresan la visión de la Sociedad en cuestiones específicas. La intención de estos documentos es aportar antecedentes objetivos, autorizados e informativos a personas interesadas en cuestiones donde ASHRAE tiene conocimientos y experiencia, en particular en áreas donde dicha información sea útil en la redacción de una política pública. Otro objetivo es también servir como herramienta educacional clarificando la posición de ASHRAE a sus miembros y profesionales en general, con el objetivo de hacer progresar las artes y ciencias en materia de climatización, calefacción, ventilación y refrigeración.

ÍNDICE

Documento de Posicionamiento de ASHRAE sobre Aerosoles Infecciosos

SECCIÓN	PÁGINA
Resumen	1
Resumen Ejecutivo	3
1 La Cuestión	5
2 Antecedentes	5
2.1 Propagación por vía aérea	6
3 Implicaciones Prácticas para Propiedades de Edificios, Personal O&M e Ingenieros	7
3.1 Diversos enfoques según el tipo de edificio	7
3.2 Estrategias de ventilación y limpieza del aire	8
3.3 Temperatura y humedad.	10
3.4 Patógenos emergentes y preparación ante emergencias	10
4 Conclusiones y Recomendaciones	11
4.1 Posicionamiento de ASHRAE.	11
4.2 Compromisos de ASHRAE	13
5 Referencias	14
6 Bibliografía	18

RESUMEN

Los patógenos que causan enfermedades infecciosas se propagan desde el huésped primario a los huéspedes secundarios por varias rutas diferentes. Se sabe que algunas enfermedades se propagan por aerosoles infecciosos; en el caso de otras, la ruta de transmisión es incierta. El riesgo de propagación de patógenos y, como consecuencia, el número de personas expuestas puede verse afectado tanto positiva como negativamente por los patrones de flujos de aire en el espacio ocupado y por los sistemas de HVAC (climatización) y de extracción local. ASHRAE es el líder mundial y la principal fuente de recursos técnicos y educativos sobre el diseño, montaje, funcionamiento y mantenimiento de estos sistemas. Aunque los principios que se examinan en este documento se aplican principalmente a edificios, también podrían aplicarse a otros entornos ocupados, como aviones, trenes y automóviles.

ASHRAE seguirá apoyando los proyectos de investigación que permitan el avance y desarrollo de los conocimientos sobre gestión del aire interior destinados a reducir el riesgo de exposición a aerosoles infecciosos. Entre estas estrategias de ventilación, las principales son: la dilución, los patrones de flujos de aire, la presurización, la distribución y control de la temperatura y de la humedad, la filtración y otras estrategias tales como la radiación germicida ultravioleta (UVGI). Si bien el nivel exacto de eficacia de ventilación variará según las condiciones locales, ASHRAE considera que estas técnicas, cuando se aplican correctamente, pueden reducir el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas a través de aerosoles.

Para especificar mejor los niveles de certeza en la política de los posicionamientos de ASHRAE, hemos optado por adoptar la rúbrica de la “Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ)” para expresar la certeza científica detrás de nuestras recomendaciones. (Burns et al. 2011) Estos niveles de evidencia, adaptados para este documento de posicionamiento, son los siguientes:

Nivel de Evidencia	Descripción
A	Firmemente recomendado; buena evidencia
B	Recomendado; cierta evidencia
C	Ninguna recomendación a favor o en contra. Equilibrio demasiado estrecho entre beneficios y perjuicios como para justificar una recomendación
D	Recomendación en contra; las pruebas aportadas son ineficaces o el daño supera el beneficio
E	Evidencia insuficiente como para recomendar a favor o en contra de forma sistemática; faltan evidencias o son poco sólidas; los beneficios y daños no pueden determinarse

El posicionamiento de ASHRAE es que los edificios de todo tipo deben seguir, como mínimo, los estándares, directrices, guías y mejores prácticas de ingeniería más recientemente publicadas. Los Estándares 62.1 y 62.2 de ASHRAE/ANSI (ASHRAE 2019b, 2019b) incluyen los requisitos de ventilación con aire exterior en la mayoría de los espacios residenciales y no residenciales y el Estándar 170 de ASHRAE (ASHRAE 2017a) contempla tanto la ventilación con aire exterior como la ventilación con aire total en los centros de atención sanitaria. Basándose en evaluaciones de riesgo o en los requerimientos de proyecto de la propiedad, los profesionales de diseño de edificios nuevos y existentes deben ir más allá de los requisitos

mínimos de estos estándares, implantando las técnicas descritas en varias publicaciones de ASHRAE, incluidos los volúmenes del “ASHRAE Handbook”, informes finales de proyectos de investigación, estudios, artículos y guías de diseño para estar lo mejor preparados con el fin de controlar la propagación de aerosoles infecciosos.

RESUMEN EJECUTIVO

Con las enfermedades infecciosas propagándose por aerosoles, los sistemas de HVAC pueden tener un efecto muy importante en la transmisión del huésped primario a los huéspedes secundarios. La exposición decreciente de los huéspedes secundarios es un paso importante en la limitación de la propagación de enfermedades infecciosas.

Los profesionales de diseño de los sistemas mecánicos deben ser conscientes de que la ventilación no es capaz de abordar todos los aspectos del control de infecciones. Sin embargo, los sistemas de HVAC¹ tienen un indudable impacto en la distribución y en la carga biológica de los aerosoles infecciosos. Pequeños aerosoles pueden permanecer en la zona de respiración disponibles para ser inhalados directamente por las vías respiratorias superiores o inferiores, o para depositarse sobre superficies desde donde pueden ser transmitidos indirectamente al volverse a suspender en el aire o por contacto fomitado².

Los aerosoles infecciosos pueden suponer un riesgo de exposición, independientemente de que la enfermedad se defina clásicamente como “enfermedad infecciosa por vía aérea”. Este documento de posicionamiento abarca las estrategias mediante las que el sistema de HVAC modula la distribución de aerosoles³ y cómo también puede aumentar o reducir la exposición a gotículas⁴, núcleos de gotículas⁵, superficies y fómites intermediarios⁶ en una variedad de entornos.

ASHRAE pretende que este documento de posicionamiento (PD) aporte información sobre lo siguiente:

- Diseño, montaje y funcionamiento de los sistemas de HVAC, incluyendo los de purificación del aire y extracción local para reducir el riesgo de transmisión de infecciones
- Estrategias de control no relacionadas con el HVAC (climatización) para reducir el riesgo de enfermedades y
- Estrategias para apoyar la gestión de edificios en su funcionamiento diario y también en el caso de emergencias.

Las enfermedades infecciosas pueden controlarse interrumpiendo las vías de transmisión utilizadas por el patógeno. Los profesionales del HVAC juegan un papel fundamental en proteger a los ocupantes de los edificios interrumpiendo la propagación de aerosoles infecciosos con los sistemas de HVAC y de extracción.

Declaraciones sobre el COVID-19

Independientemente de la aprobación de este documento de posicionamiento, el Comité Ejecutivo y el Equipo de Trabajo para Epidemias de ASHRAE han aprobado las siguientes

¹ Estos se describen en el “ASHRAE Systems Handbook” (ASHRAE 2020).

² Un objeto (como un plato o un pomo de puerta) que puede estar contaminado con organismos infecciosos y servir de transmisor.

³ Un aerosol es un sistema de partículas líquidas o sólidas uniformemente distribuidas en un estado finamente dividido a través de un gas, generalmente aire. Son lo suficientemente pequeñas y flotantes como para comportarse como un gas.

⁴ En este documento, se entiende que *las gotículas* son lo suficientemente grandes como para caer a una superficie en 1–2 metros (3–7 pies) y por lo tanto no se convierten en aerosoles.

⁵ Los núcleos de gotículas se forman a partir de gotículas que se vuelven menos masivas por evaporación y por lo tanto, pueden convertirse en aerosoles.

⁶ La transmisión fomite es una forma de contacto indirecto que se produce al tocar un objeto inanimado contaminado como el pomo de una puerta, la barandilla de una cama, el mando de un televisor o las superficies del baño.

declaraciones en respuesta a la pandemia COVID-19. Ambas se muestran a continuación debido a la relación única entre éstas y las estrategias de diseño de protección analizadas en este documento de posicionamiento:

Declaración de ASHRAE respecto a la transmisión del SARS-CoV-2/COVID-19 por el aire: la transmisión del SARS-CoV-2 por el aire es lo suficientemente probable como para que la exposición por vía aérea al virus deba ser controlada. Cambios en el funcionamiento de edificios, incluidos el de los sistemas e instalaciones de climatización, calefacción y ventilación pueden reducir las exposiciones por vía aérea.

Declaración de ASHRAE respecto al funcionamiento de las instalaciones y sistemas de climatización, calefacción y ventilación para reducir la transmisión del SARS-CoV-2/ COVID- 19: la ventilación y filtración facilitadas por los sistemas e instalaciones de climatización, calefacción y ventilación pueden reducir la concentración de SARS-CoV-2 en el aire y por tanto el riesgo de transmisión por vía aérea. Espacios no acondicionados pueden provocar estrés térmico en personas con amenaza directa de su vida y reducción de su resistencia a la infección. En general, desactivar el funcionamiento de los sistemas e instalaciones de climatización, calefacción y ventilación no es una medida recomendada para reducir la transmisión del virus.

1. LA CUESTIÓN

Aunque se reconoce ampliamente la propagación potencial de patógenos infecciosos por el aire, sigue existiendo incertidumbre respecto a la importancia relativa de las diversas vías de transmisión de la enfermedad, como la aérea, por gotículas, por contacto directo o indirecto, o por medios multimodales (combinación de mecanismos). La transmisión de enfermedades varía según la infectividad del patógeno, los reservorios, las vías y la susceptibilidad de los huéspedes secundarios (Roy y Milton 2004; Shaman y Kohn 2009; Li 2011) La variable más relevante para el diseño y control de los sistemas de HVAC es la interrupción de las vías de transmisión de aerosoles infecciosos.

Los profesionales del control de infecciones describen la cadena de infección como un proceso por el que un patógeno (microbio que causa una enfermedad) es transportado por un huésped inicial o reservorio, accede a una vía de transmisión continua y con suficiente virulencia encuentra un huésped secundario susceptible. Los sistemas de distribución de aire, filtración y ventilación tienen el potencial de limitar la transmisión del patógeno por el aire y, por lo tanto, romper la cadena de infección.

Los profesionales de la industria de la construcción deben reconocer la importancia del funcionamiento de los edificios y de los sistemas de ventilación para interrumpir la transmisión de la enfermedad. Otras medidas distintas a la climatización para romper la cadena de infección tales como la limpieza efectiva de superficies, las políticas de precaución de aislamiento y contacto de personas y la vacunación, son estrategias eficaces que van más allá del alcance de este documento. La ventilación por dilución o extracción, la presurización, la distribución de los flujos de aire, la filtración mecánica, la radiación ultravioleta germicida (UVGI) y el control de humedad son estrategias efectivas para reducir el riesgo de propagación de aerosoles infecciosos en edificios y entornos de transporte.

Aunque este documento de posicionamiento se aplica principalmente a las enfermedades bacterianas y víricas que se transmiten por el aire, de persona a persona, los principios de contención pueden también aplicarse a la infección desde reservorios en edificios tales como los sistemas de agua en edificios con legionella y la materia orgánica conteniendo esporas en moho u hongos (en la medida en que los microorganismos se propaguen por el aire). El primer paso para el control de estas enfermedades es eliminar la fuente antes de que se transmita por el aire.

2. ANTECEDENTES

ASHRAE asesora, orienta y desarrolla estándares con la intención de mitigar los riesgos de transmisión de enfermedades infecciosas en el entorno construido. Estos documentos aportan estrategias de ingeniería para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades y, por tanto, podrían emplearse en una gran variedad de espacios, tales como aviones, trenes y automóviles.

Este documento de posicionamiento contempla la propagación de aerosoles infecciosos y la transmisión indirecta por resuspensión pero no las vías de contacto directo. El *contacto directo* generalmente se refiere al contacto corporal como el tacto, los besos, el contacto sexual, el contacto con secreciones orales o lesiones cutáneas y las vías adicionales como son las transfusiones de sangre o las inyecciones intravenosas.

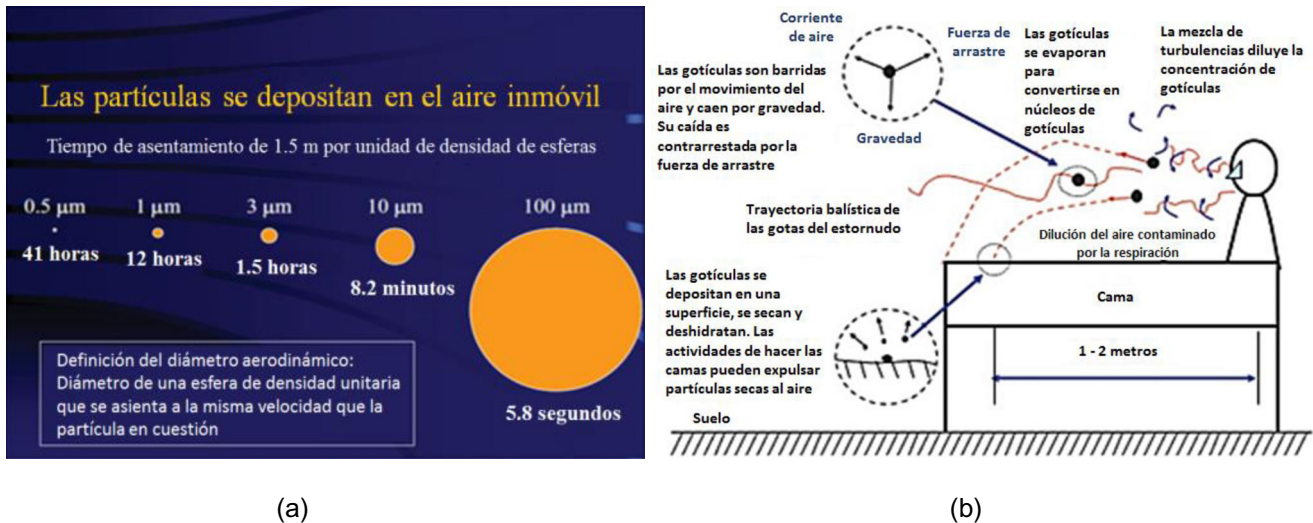


Figura 1 (a) Comparativa de los tiempos de asentamiento de las partículas que se asientan en el aire en reposo (Baron n.d.) y (b) ilustra la aerobiología teórica de la transmisión de gotículas y partículas en pequeños aerosoles producidas por un paciente infectado con una infección aguda (cortesía de Yuguo Li).

2.1 Propagación por vía aérea

La propagación de patógenos por el aire se produce a través de gotículas y aerosoles que suelen generarse al toser, estornudar, gritar, respirar, hablar, cantar, en las descargas de las cisternas de los inodoros y en ciertos procedimientos médicos (Bischoff 2013, Yan et al. 2018). La mayor parte de las gotículas grandes caen por gravedad y se depositan en superficies a 1–2 m (3–7 pies) de la fuente (véase la Figura 1). La ventilación por dilución general y los diferenciales de presión no influyen significativamente en la transmisión de corto rango. En cambio, la propagación de pequeños aerosoles infecciosos incluyendo los núcleos de gotículas resultantes de la desecación puede verse afectada en general por los patrones de flujos de aire en los espacios y en particular por los patrones de flujos de aire en los alrededores de la fuente. Especial interés tienen los aerosoles pequeños ($< 10 \mu\text{m}$), que pueden permanecer en el aire y ser infecciosos durante períodos prolongados de tiempo (varios minutos, horas o incluso días) y, por tanto, pueden recorrer mayores distancias e infectar huéspedes secundarios que no han estado en contacto con el huésped primario.

Se sabe que muchas enfermedades tienen elevadas tasas de transmisión vía gotículas grandes cuando individuos susceptibles se acercan a 1 ó 2 m (3 ó 7 pies). (Nicas 2009; Li 2011). Dependiendo de los factores ambientales, estas gotículas grandes ($100 \mu\text{m}$ de diámetro) pueden contraerse por evaporación antes de depositarse, transformándose en aerosoles ($< 10 \mu\text{m}$, aproximadamente). El término *núcleo de gotícula* se utiliza para describir la desecación de gotículas en aerosoles (Siegel et al. 2007). Los sistemas de ventilación no pueden interrumpir la rápida caída de las gotículas grandes, pero pueden influir en la transmisión de aerosoles infecciosos de núcleos de gotículas. Flujos direccionales de aire pueden crear patrones de flujos limpio-a-sucio y mover los aerosoles infecciosos para su captura o extracción.

3. IMPLICACIONES PRÁCTICAS PARA PROPIEDADES DE EDIFICIOS, PERSONAL O&M E INGENIEROS

Ni siquiera el sistema de HVAC más perfeccionado puede controlar todos los caudales de aire y prevenir completamente la propagación de un aerosol infeccioso o la transmisión de una enfermedad por medio de gotículas o aerosoles. El impacto del sistema de HVAC dependerá de la ubicación y fuerza de la fuente, de la distribución del aerosol liberado, del tamaño de las gotículas, de la distribución del aire, de la temperatura, de la humedad relativa y de la filtración. Además, hay múltiples modos y circunstancias en los que se produce la transmisión de enfermedades. Así pues, las estrategias de prevención y mitigación de riesgos requieren la colaboración entre profesionales del diseño, propiedades, personal O&M, higienistas industriales y especialistas en la prevención de infecciones.

3.1 Diversos enfoques según el tipo de edificio

Los centros de atención sanitaria se diseñan con criterios de ventilación para mitigar la transmisión aérea de enfermedades infecciosas (ASHRAE 2013, 2017a, 2019a; FGI 2010); sin embargo, las infecciones también se transmiten en espacios normales de la comunidad y no sólo en los de la industria o la salud. ASHRAE proporciona los requisitos generales de ventilación y calidad del aire en las Estándares 62.1, 62.2 y 170 (ASHRAE 2019a, 2019b, 2017a); ASHRAE no aporta información específica ni requisitos para el control de enfermedades infecciosas en hogares, escuelas, prisiones, refugios, transporte u otros edificios públicos.

En los centros de atención sanitaria, la mayoría de las intervenciones para el control de las infecciones están orientadas a reducir la transmisión de patógenos por contacto directo o indirecto. Las intervenciones para limitar la transmisión aérea (Aliabadi et al. 2011) enfatizan en la educación del personal y la vigilancia de comportamientos tales como la higiene de las manos y el cumplimiento de los protocolos de las listas de verificación y, se han restringido en gran medida a una lista relativamente corta de enfermedades causadas por patógenos que se propagan sólo por el aire. Ahora que los microbiólogos entienden que muchos patógenos pueden viajar tanto por contacto como por vía aérea, el papel de la gestión del aire interior se ha convertido en algo fundamental para el éxito de los esfuerzos de prevención. En vista de una interpretación más amplia de los modos flexibles de transmisión de patógenos, los centros de atención sanitaria utilizan ahora múltiples modalidades simultáneamente (medidas que se denominan *conjuntos de medidas para el control de infecciones*) (Apisarnthanarak et al. 2009, 2010a, 2010b; Cheng et al. 2010). Por ejemplo, en el caso de dos enfermedades que se transmiten claramente por vía aérea, la tuberculosis y el sarampión, estos conjuntos de medidas incluye reglamentos administrativos, controles ambientales y protocolos de equipos de protección personal en los centros de atención sanitaria. Este enfoque más amplio es necesario para controlar los patógenos, que pueden utilizar tanto las vías de contacto como las de transmisión aérea. Similares estrategias pueden ser adecuadas para los espacios no sanitarios, como el transporte público, aviones, escuelas, refugios y prisiones, que también pueden estar sujetos a un contacto próximo de los ocupantes.

Muchos edificios poseen ventilación natural, total o parcial; pueden tener ventanas practicables y depender de aperturas practicables voluntaria o involuntariamente en la envolvente del edificio. Estas estrategias generan diferentes riesgos y beneficios. Obviamente, el caudal de aire en estos edificios es variables e impredecible, como lo son los patrones de distribución de aire resultantes, por lo que la capacidad de gestionar activamente el riesgo en

tales edificios es muy reducida. Sin embargo, los edificios con ventilación natural pueden ir más allá de la apertura aleatoria de ventanas y ser diseñados intencionadamente para disponer de estrategias de ventilación y por lo tanto, reducir el riesgo de aerosoles infecciosos. En general, los diseños que logran mayores tasas de ventilación reducirán este riesgo. Sin embargo, estos edificios se verán más afectados por la calidad del aire exterior local, incluyendo el nivel de alérgenos y contaminantes, la variación de la temperatura, las condiciones de humedad y los insectos voladores. La Organización Mundial de la Salud ha publicado directrices para estos edificios con ventilación natural que deben ser consultadas en tales proyectos (Atkinson et al. 2009).

3.2 Estrategias de ventilación y purificación del aire

El diseño y funcionamiento de los sistemas de HVAC pueden afectar al transporte de aerosoles infecciosos, pero son sólo una parte de un conjunto de medidas para el control de infecciones. Las siguientes estrategias de HVAC (climatización) poseen el potencial de reducir los riesgos de propagación de aerosoles infecciosos: patrones de distribución de aire, presurización diferencial de habitación/sala, ventilación personalizada, ventilación de captura de la fuente, filtración (central o local) y controlar la temperatura y la humedad relativa. Mientras que la radiación UVGI está bien estudiada y validada, muchas otras nuevas tecnologías no lo están (ASHRAE 2018). (Nivel de Evidencia B)

La ventilación con patrones efectivos de flujos de aire (Pantelic and Tham 2013) es una estrategia principal para el control de enfermedades infecciosas a través de la dilución del aire ambiental alrededor de una fuente y la retirada de agentes infecciosos (CDC 2005). Sin embargo, sigue sin estar claro la carga de partículas infecciosas que debe disminuirse para lograr una reducción medible de las transmisiones de enfermedades (las dosis infecciosas varían ampliamente entre diferentes patógenos) y si esas reducciones justifican los costes asociados (Pantelic and Tham 2011; Pantelic and Tham 2012), (Nivel de Evidencia B).

Tanto los diferenciales de presión de sala o habitación como el flujo direccional de aire son factores importantes para controlar el caudal de aire entre zonas de un edificio (CDC 2005; Siegel et al. 2007) (Nivel de Evidencia B). Algunos diseños para salas de aislamiento de infecciones por vía aérea ("Airborne Infection Isolation Rooms, AIIR's") incorporan una dilución suplementaria o extracción/ventilación de captura (CDC 2005). Curiosamente, los criterios para las salas de aislamiento AIIR difieren sustancialmente entre regiones y países de varias maneras, incluyendo la impulsión de aire a las antesalas, la extracción de la sala y los volúmenes requeridos de aire de ventilación (Fusco et al. 2012; Subhash et al. 2013). Un reciente proyecto de investigación de ASHRAE encontró pruebas convincentes de que una antesala con una adecuada configuración y funcionamiento es un medio eficaz para mantener los diferenciales de presión y crear contención en las habitaciones del hospital (Siegel et al. 2007; Mousavi et al. 2019). Cuando un riesgo significativo de transmisión de aerosoles ha sido identificado mediante evaluaciones de riesgo de control de infecciones, el diseño de las salas de aislamiento AIIR debe incluir antesalas. (Nivel de Evidencia A)

La filtración de partículas de alta eficiencia en los sistemas centralizados de HVAC reduce la carga aérea de partículas infecciosas (Azimi and Stephens 2013). Esta estrategia disminuye el transporte de agentes infecciosos de una zona a otra, cuando éstas comparten el mismo sistema centralizado de HVAC a través de la impulsión de aire recirculado. Cuando se seleccionan e implementan adecuadamente, las unidades de filtración de alta eficiencia en un único espacio (ya sea montadas en el techo o portátiles) pueden ser altamente eficaces para

reducir o disminuir las concentraciones de aerosoles infecciosos en este espacio. También logran el control de la fuente de flujo direccional de aire que proporciona protección a la exposición del paciente junto a su cama (Miller-Leiden et al. 1996; Mead and Johnson 2004; Kujundzic et al. 2006; Mead et al. 2012; Dungi et al. 2015). La filtración no eliminará todo el riesgo de transmisión de las partículas en el aire porque otros muchos factores además de la concentración de aerosoles infecciosos contribuyen a transmisión de enfermedades. (Nivel de Evidencia A).

Todo el espectro ultravioleta (UV) puede matar o inactivar microorganismos, pero la energía UV-C (en las longitudes de onda de 200 a 280 nm) proporciona el efecto más germicida, siendo 265 nm la longitud de onda óptima. La mayoría de las lámparas modernas de radiación UVGI generan energía UV-C a un nivel casi óptimo con longitud de onda de 254 nm. La radiación UVGI inactiva los microorganismos dañando la estructura de los ácidos nucleicos y proteínas con una eficacia que depende de la dosis de radiación UV y la susceptibilidad del microorganismo. La seguridad de la energía UV-C es bien conocida. No penetra profundamente en el tejido humano, pero puede penetrar en las superficies más exteriores de los ojos y de la piel, siendo los ojos más susceptibles a los daños. Por lo tanto, el blindaje es necesario para prevenir la exposición directa a los ojos. Mientras que el “ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning” (2018) no hace una recomendación a favor o en contra del uso de energía UV en los sistemas de aire para minimizar los riesgos de los aerosoles infecciosos, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) han aprobado la radiación UVGI como complemento a la filtración para la reducción del riesgo de tuberculosis y han publicado una directriz para su aplicación (CDC 2005, 2009)⁷ (Nivel de Evidencia A).

Sistemas de ventilación personalizada que proporcionan un control local de la fuente de extracción y/o impulsión con 100% de aire exterior, altamente filtrado o desinfectado por radiación UV directamente a la zona de respiración del ocupante (Cermak et al. 2006; Bolashikov et al. 2009; Pantelic et al. 2009, 2015; Licina et al., 2015a, 2015b) pueden ofrecer protección contra la exposición al aire contaminado. La ventilación personalizada puede ser eficaz contra los aerosoles que recorren tanto largas como cortas distancias (Li 2011). Los sistemas de ventilación personalizada, cuando se combinan con dispositivos de extracción localizados o personalizados, mejoran aún más la capacidad general de mitigar la exposición en las zonas de respiración, como se ve en ambos estudios experimentales y de fluidodinámica computacional (CFD) en entornos sanitarios (Yang et al. Al. 2013, 2014, 2015a, 2015b; Bolashikov et al. 2015; Bivolarova et al. 2016). Sin embargo, no se conocen estudios epidemiológicos que demuestren una reducción en la transmisión de enfermedades infecciosas (Nivel de Evidencia B).

Técnicas avanzadas como la del análisis de la fluidodinámica computacional (CFD), si se realiza con la experiencia adecuada, puede predecir los patrones de flujos de aire y las probables trayectorias de flujo de contaminantes aerotransportados en un espacio. Estos análisis pueden utilizarse como herramientas de orientación durante las primeras etapas de un ciclo de diseño (Khankari 2016, 2018a, 2018b, 2018c).

⁷ Además de la radiación UV, la radiación óptica de mayores longitudes de onda como 405 nm es una tecnología de desinfección emergente que puede tener una útil efectividad germicida.

3.3 Temperatura y humedad

Los sistemas de HVAC se diseñan para controlar la temperatura y la humedad, lo que a su vez influye en la transmisibilidad de agentes infecciosos. Aunque los sistemas de HVAC pueden diseñarse para controlar la humedad relativa, hay retos prácticos y efectos potencialmente negativos de mantener ciertas consignas de humedad relativa en todas las zonas climáticas. Sin embargo, mientras que el peso de la evidencia en estos tiempos (Derby et al. 2016), incluyendo la reciente que aplica un análisis metagenómico (Taylor and Tasi 2018), sugiere que el control de la humedad relativa reduce la transmisión de ciertos organismos presentes en aerosoles infecciosos, incluyendo ciertas cepas de gripe, este documento de posicionamiento anima a los profesionales del diseño a prestar especial atención a la consideración de la temperatura y de la humedad relativa.

Además, inmunobiólogos han correlacionado los niveles medios de humedad con la mejora de la inmunidad de los mamíferos contra las infecciones respiratorias (Taylor and Tasi 2018). El informe de Mousavi et al. (2019) sugiere que la literatura científica generalmente refleja que la supervivencia más desfavorable para microorganismos se produce con una humedad relativa entre el 40 y 60% (Nivel de Evidencia B). La introducción de vapor de agua en los entornos interiores para alcanzar niveles de humedad de rango medio asociados con infecciones reducidas requiere la adecuada selección, funcionamiento y mantenimiento de los equipos de humidificación. Climas con inviernos fríos requieren un adecuado aislamiento del edificio para prevenir puentes térmicos que conducen a la condensación y al crecimiento de moho (ASHRAE 2009). Otros estudios recientes (Taylor and Tasi 2018) identifican que la humedad relativa juega un papel importante en las infecciones de pacientes. Estos estudios muestran que humedades relativas por debajo del 40% se asocian con 3 factores que incrementan las infecciones. Primero y como se analiza previamente, los aerosoles infecciosos emitidos desde un huésped primario se contraen rápidamente para transformarse en núcleos de gotículas y esos patógenos de infección todavía latentes permanecen en suspensión en el aire y son capaces de recorrer grandes distancias. Cuando se encuentran con un huésped secundario hidratado se rehidratan y son capaces de propagar la infección. Segundo, muchos virus y bacterias son anhidroresistentes (Goffau et al. 2009; Stone et al. 2016) y realmente han incrementado la viabilidad en condiciones de baja humedad relativa. Y finalmente, inmunobiólogos han aclarado ahora que los mecanismos a través de los que la humedad relativa ambiente está por debajo del 40% afecta a las barreras de las membranas mucosas y otras etapas en sistemas de inmunoprotección (Kudo et al. 2019) (Nivel de Evidencia B).

Este documento de posicionamiento no hace una recomendación definitiva sobre las consignas de temperatura interior y humedad con el objetivo de controlar la transmisión de aerosoles infecciosos. Los profesionales pueden utilizar esta información para la toma de decisiones en el diseño y funcionamiento de edificios, caso por caso.

3.4 Patógenos emergentes y preparación ante emergencias

Los brotes de enfermedades (epidemias y pandemias) se están incrementando en frecuencia y magnitud. Las pandemias en el pasado han tenido efectos devastadores sobre las poblaciones afectadas. Microorganismos novedosos que pueden propagarse a través de aerosoles infecciosos necesitan buenos diseños, construcción, commissioning, mantenimiento, planificación avanzada y simulacros de emergencia para facilitar acciones rápidas para mitigar la exposición. En muchos países estrategias comunes incluyen edificios ventilados naturalmente y aislamiento. El "Control Banding" es una estrategia de estimación del

nivel de riesgo y del nivel de control acorde con la prioridad de acción que debe considerarse para su aplicación en la jerarquía de controles para patógenos emergentes basado en la probabilidad y duración de la exposición y en la infectividad y virulencia del patógeno (Sietsema 2019) (Nivel de Evidencia B). Agentes biológicos que pueden ser utilizados en ataques terroristas no se abordan en este documento (USDHHS 2002, 2003).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los aerosoles infecciosos pueden propagarse en los edificios por vías que incluyen el sistema de distribución de aire y los flujos de aire entre zonas. Se han identificado varias estrategias efectivas para controlar la transmisión, incluyendo la optimización de los patrones de flujos de aire, flujos direccionales de aire, presurización de zonas, ventilación por dilución, sistemas de purificación de aire en espacios, ventilación por extracción general, ventilación personalizada, ventilación por extracción localizada en la fuente, sistema central de filtración, radiación UVGI y control de la temperatura interior y de la humedad relativa. Los profesionales de diseño pueden contribuir de manera fundamental a reducir la transmisión de aerosoles infecciosos mediante la aplicación de estas estrategias. Las investigaciones sobre transmisión de patógenos respecto a la función de propagación por el aire y resuspensión desde superficies, está evolucionando rápidamente. La gestión del aire interior para controlar la distribución de aerosoles infecciosos es una intervención efectiva que aporta otra estrategia a los tratamientos médicos y a las intervenciones del comportamiento en la prevención de enfermedades.

4.1 Posicionamiento de ASHRAE

- Los profesionales de diseño de los sistemas de HVAC (climatización) para edificios de todo tipo deben seguir, como mínimo, los más recientes estándares, directrices y buenas prácticas de ingeniería publicados. Basándose en evaluaciones de riesgo o en los requerimientos de proyecto de la propiedad, los profesionales de diseño de edificios nuevos y existentes deben ir más allá de los requisitos mínimos de estos estándares, implantando las técnicas descritas en varias publicaciones de ASHRAE, incluidos los volúmenes del “ASHRAE Handbook”, informes finales de proyectos de investigación, estudios, artículos y guías de diseño para estar lo mejor preparados para controlar la propagación de aerosoles infecciosos.
- La mitigación de la propagación de aerosoles infecciosos debe considerarse en el diseño de todos los edificios y, en aquellos identificados como de alto riesgo deben incorporarse los diseños adecuados de mitigación.
- Los equipos de diseño y construcción, incluyendo los profesionales del diseño de los sistemas de HVAC deben comprometerse en implantar un proceso integrado de diseño con el fin de incorporar un conjunto apropiado de medidas para el control de infecciones desde las fases iniciales del diseño.
- Basándose en evaluaciones de riesgo, edificios y vehículos de transporte deben contemplar diseños que promuevan patrones de flujos de aire más limpio con el fin de facilitar trayectorias efectivas de flujo para salida de espacios de partículas en suspensión en el aire hacia zonas menos limpias y utilizar sistemas de purificación de aire (Nivel de Evidencia A).
- Donde se identifique riesgo significativo de transmisión de aerosoles por evaluaciones de riesgo de control de infecciones, el diseño de las salas de aislamiento de infecciones por

vía aérea (“Airborne Infection Isolation Rooms, AIIR’s”) deben incluir antesalas (Nivel de Evidencia A).

- Basándose en evaluaciones de riesgo, debe considerarse la aplicación de estrategias específicas de HVAC apoyadas en evidencias descritas en la literatura técnica especializada, incluyendo:
 - Filtración mejorada (filtros de más alta eficiencia MERV, “minimum efficiency reporting value” sobre requisitos mínimos en espacios de alto riesgo y/o densa ocupación), (Nivel de Evidencia A)
 - Dispositivos de radiación UVGI en la parte superior de la sala (apoyados con ventiladores de sala si es posible) como suplemento al caudal de impulsión de aire (Nivel de Evidencia A)
 - Ventilación por extracción local para control de fuentes (Nivel de Evidencia A)
 - Sistemas de ventilación personalizada para ciertas actividades de alto riesgo (Nivel de Evidencia B)
 - Filtros portátiles y autónomos HEPA (“high-efficiency particulate air”) (Nivel de Evidencia B)
 - Control de temperatura y humedad (Nivel de Evidencia B)
- El diseño y funcionamiento de los edificios de atención sanitaria⁸ deben considerar y permitir lo siguiente:
 - Capturar los aerosoles expirados por el paciente mediante una extracción en el cabecero de la cama o con máscara con tubo de extracción o unidades portátiles tipo tienda sobre el paciente. Las particiones deben ser de suelo a techo con impulsión desde la puerta y extracción desde el paciente y filtración local de aire grado HEPA.
 - Extractores de baño y cuñas-orinales (es una necesidad).
 - Mantener la temperatura y humedad ambiental si hay motivos de preocupación de aerosoles infecciosos.
 - Suministrar aire limpio a los cuidadores.
 - Mantener las UCI’s presurizadas a presión negativa donde los aerosoles infecciosos pueden estar presentes.
 - Mantener aquellas habitaciones con preocupación de posibles aerosoles infecciosos a presión negativa.
 - Disponer de extracción al 100% en las habitaciones de los pacientes.
 - Utilizar radiación UVGI.
 - Incrementar la tasa de renovación con aire exterior (ejemplo, incrementar de 2 a 6 el número de renovaciones por hora en las habitaciones de los pacientes).
 - Establecer las contribuciones del HVAC (climatización) en las habitaciones de los pacientes en los cambios de paciente y antes de la reocupación.
- Los edificios que no sean de atención sanitaria deben tener un plan de respuesta en caso de emergencias. Las siguientes modificaciones en el funcionamiento del sistema de HVAC del edificio deben considerarse:
 - Incrementar la ventilación con aire exterior (Deshabilitar la demanda controlada de ventilación y abrir las compuertas de aire exterior al 100% en función de las condiciones interiores y exteriores).

⁸ Se asume que los centros de atención sanitaria disponen de planes de respuesta en casos de emergencia.

- Mejorar la filtración del aire central y de otros sistemas de HVAC a MERV-13 (ASHRAE 2017b) o el máximo nivel de eficiencia alcanzable.
- Mantener operativos los sistemas un mayor número de horas (24/7 si es posible).
- Utilizar adicionalmente en las habitaciones purificadores portátiles de aire provistos de filtros HEPA o de alta eficiencia MERV con consideración a la tasa suministrada de aire limpio (AHAM2015).
- Añadir conductos o climatizadores compactos en la parte superior de la habitación y/o dispositivos portátiles UVGI asociados a los ventiladores de habitación en espacios de alta ocupación como salas de espera, prisiones o refugios.
- Mantener la temperatura y humedad si procede en los aerosoles infecciosos motivo de preocupación.
- Bypasear los sistemas de ventilación con recuperación de energía que puedan fugar aire de extracción contaminado al suministro de aire exterior.
- Diseñar y montar capacidades propias para responder a las amenazas de emergencia y planificar y practicar para ello. (Nivel de Evidencia B)

4.2 Compromisos de ASHRAE

- Abordar las lagunas para futuros proyectos de investigación incluyéndolas en los siguientes temas:
 - Investigación y desarrollo de variables de generación de fuentes para su aplicación en los procedimientos actualizados de tasas de ventilación
 - Interpretación de los impactos de las tasas de renovación de aire en los quirófanos sobre los resultados de los pacientes
 - Determinación de la efectividad de la ubicación de los registros de impulsión, retorno y extracción en las habitaciones de los pacientes
 - Realización de estudios de intervención controlada para cuantificar el rendimiento del control de infecciones por vía aérea y la relación coste-eficacia de las estrategias específicas de diseño individualmente o en combinación en aplicaciones en campo con ocupación de alto riesgo
 - Evaluación y comparación de las opciones para crear un incremento de los espacios de aislamiento por vía aérea y espacios de aislamiento temporal a presión negativa y su impacto en el funcionamiento general del edificio
 - Interpretación de la aplicación adecuada de las estrategias de control de temperatura y humedad según las zonas climáticas, en la transmisión de aerosoles infecciosos
 - Investigación de cómo las técnicas de “control banding” pueden aplicarse para gestionar el riesgo de propagación de aerosoles infecciosos
- Colaboración con expertos en la prevención de infecciones, enfermedades infecciosas y salud ocupacional y con las propiedades de edificios para evaluar las estrategias de control de emergencias y proporcionar recomendaciones basadas en evidencias.
- Formación de los grupos de interés y divulgar las mejores prácticas.
- Creación de una base de datos para monitorizar y compartir conocimientos sobre estrategias de ingeniería efectivas y protectoras de diseño.
- Actualización de estándares y directrices para reflejar las estrategias de protección basadas en evidencias.

5. REFERENCIAS

- AHAM. 2015. ANSI/AHAM AC-1-2015, *Method For Measuring Performance Of Portable Household Electric Room Air Cleaners*. Washington, DC: Association of Home Appliance Manufacturers.
- Aliabadi, A.A., S.N. Rogak, K.H. Bartlett, and S.I. Green. 2011. Preventing airborne disease transmission: Review of methods for ventilation design in health care facilities. *Advances in Preventive Medicine*. Article ID 12406. DOI: 10.4061/2011/124064.
- Apisarnthanarak, A., P. Apisarnthanarak, B. Cheevakumjorn, and L.M. Mundy. 2009. Intervention with an infection control bundle to reduce transmission of influenza-like illnesses in a Thai preschool. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 30(9):817–22. DOI: 10.1086/599773.
- Apisarnthanarak, A., P. Apisarnthanarak, B. Cheevakumjorn, and L.M. Mundy. 2010a. Implementation of an infection control bundle in a school to reduce transmission of influenza-like illness during the novel influenza A 2009 H1N1 pandemic. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 31(3):310–11. DOI: 10.1086/651063.
- Apisarnthanarak, A., T.M. Uyeki, P. Puthavathana, R. Kitphati, and L.M. Mundy. 2010b. Reduction of seasonal influenza transmission among healthcare workers in an intensive care unit: A 4-year intervention study in Thailand. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 31(10):996–1003. DOI: 10.1086/656565.
- ASHRAE. 2009. *Indoor Air Quality Guide: Best Practices for Design, Construction and Commissioning*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2013. *HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics*, 2d ed. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2017a. ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017, *Ventilation of Health Care Facilities*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2017b. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2018. *ASHRAE Position Document on Filtration and Air-Cleaning*. Atlanta: ASHRAE. www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd.pdf.
- ASHRAE. 2019a. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2019b. ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2019, *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2020. *ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment*. Atlanta: ASHRAE.
- Atkinson J., Y. Chartier, C.L. Pessoa-Silva, P. Jensen, and W.H. Seto. 2009. *Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings*. Geneva: World Health Organization. www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation/en.
- Azimi, P., and B. Stephens. 2013. HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs. *Building and Environment* 70:150–60.
- Baron, P. n.d. *Generation and Behavior of Airborne Particles (Aerosols)*. Presentation published at CDC/NIOSH Topic Page: Aerosols, National Institute for Occupational Safety and Health, Centers for Disease Control and Prevention, Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, OH. www.cdc.gov/niosh/topics/aerosols/pdfs/Aerosol_101.pdf.

- Bischoff, W.E., K. Swett, I. Leng, and T.R. Peters. 2013. Exposure to influenza virus aerosols during routine patient care. *Journal of Infectious Diseases* 207(7):1037–46. DOI: 10.1093/infdis/jis773.
- Bivolarova, M.P., A.K. Melikov, C. Mizutani, K. Kajiwara, and Z.D. Bolashikov. 2016. Bed-integrated local exhaust ventilation system combined with local air cleaning for improved IAQ in hospital patient rooms. *Building and Environment* 100:10–18.
- Bolashikov, Z.D., A.K. Melikov, and M. Krenek. 2009. Improved performance of personalized ventilation by control of the convection flow around occupant body. *ASHRAE Transactions* 115(2):421–31.
- Bolashikov, Z.D., M. Barova, and A.K. Melikov. 2015. Wearable personal exhaust ventilation: Improved indoor air quality and reduced exposure to air exhaled from a sick doctor. *Science and Technology for the Built Environment* 21(8):1117–25.
- Burns, P.B., R.J. Rohrich, and K.C. Chung. 2011. Levels of evidence and their role in evidence-based medicine. *Plast Reconstr Surg* 128(1):305–10.
- CDC. 2005. *Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Settings*. Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR) 54(RR17):1–140. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention. www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/rr5417a1.htm.
- CDC. 2009. *Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings*. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention. www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105/pdfs/2009-105.pdf.
- Cermak, R., A.K. Melikov, L. Forejt, and O. Kovar. 2006. Performance of personalized ventilation in conjunction with mixing and displacement ventilation. *HVAC&R Research* 12(2):295–311.
- Cheng, V.C., J.W. Tai, L.M. Wong, J.F. Chan, I.W. Li, K.K. To, I.F. Hung, K.H. Chan, P.L. Ho, and K.Y. Yuen. 2010. Prevention of nosocomial transmission of swine-origin pandemic influenza virus A/H1N1 by infection control bundle. *Journal of Hospital Infection* 74(3):271–77. DOI: 10.1016/j.jhin.2009.09.009.
- Derby, M., S. Eckels, G. Hwang, B. Jones, R. Maghirang, and D. Shulan. 2016. *Update the Scientific Evidence for Specifying Lower Limit Relative Humidity Levels for Comfort, Health and IEQ in Occupied Spaces*. ASHRAE Research Report 1630. Atlanta: ASHRAE.
- Dungi, S.R., U. Ghia, K.R. Mead, and M. Gressel. 2015. Effectiveness of a local ventilation/filtration intervention for health-care worker exposure reduction to airborne infection in a hospital room. Paper no. CH-15-C017. *2015 ASHRAE Winter Conference—Papers* [download].
- FGI. 2010. *Guidelines for Design and Construction of Health Care Facilities*. St Louis, MO: Facility Guidelines Institute.
- Fusco, F.M., S. Schilling, G. De Iaco, H.R. Brodt, P. Brouqui, H.C. Maltezou, B. Bannister, R. Gottschalk, G. Thomson, V. Puro, and G. Ippolito. 2012. Infection control management of patients with suspected highly infectious diseases in emergency departments: Data from a survey in 41 facilities in 14 European countries. *BMC Infectious Diseases* January 28:12–27.
- de Goffau, M.C., X. Yang, J.M. van Dijk, and H.J. Harmsen. 2009. Bacterial pleomorphism and competition in a relative humidity gradient. *Environmental Microbiology* 11(4):809–22. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2008.01802.x.

- Khankari, K. 2016. Airflow path matters: Patient room HVAC. *ASHRAE Journal* 58(6).
- Khankari, K. 2018a. Analysis of spread index: A measure of laboratory ventilation effectiveness. Paper no. HO-18-C043. *2018 ASHRAE Annual Conference—Papers* [download].
- Khankari, K. 2018b. CFD analysis of hospital operating room ventilation system part I: Analysis of air change rates. *ASHRAE Journal* 60(5).
- Khankari, K. 2018c. CFD analysis of hospital operating room ventilation system part II: Analyses of HVAC configurations. *ASHRAE Journal* 60(6).
- Kudo, E., E. Song, L.J. Yockey, T. Rakib, P.W. Wong, R.J. Homer, and A. Iwasaki. 2019. Low ambient humidity impairs barrier function, innate resistance against influenza infection. *PNAS* 116(22):10905–10. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902840116>.
- Kujundzic, E., F. Matakah, D.J. Howard, M. Hernandez, and S.L. Miller. 2006. Air cleaners and upper-room air UV germicidal irradiation for controlling airborne bacteria and fungal spores. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3:536–46.
- Lax, S., and J.A. Gilbert. 2015. Hospital-associated microbiota and implications for nosocomial infections. *Trends in Molecular Medicine* 21(7):427–32. www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S147149141500074X.
- Lax, S., D. Smith, N. Sangwan, K. Handley, P. Larsen, M. Richardson, S. Taylor, E. Landon, J. Alverdy, J. Siegel, B. Stephens, R. Knight, and J.A. Gilbert. 2017. Colonization and Succession of Hospital-Associated Microbiota. *Sci Transl Med.* 9(391):eaah6500. DOI: 10.1126/scitranslmed.aah6500. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5706123.
- Licina, D., A. Melikov, C. Sekhar, and K.W. Tham. 2015a. Human convective boundary layer and its interaction with room ventilation flow. *Indoor Air* 25(1):21–35. DOI:10.1111/ina.12120.
- Licina, D., A. Melikov, J. Pantelic, C. Sekhar, and K.W. Tham. 2015b. Human convection flow in spaces with and without ventilation: Personal exposure to floor-released particles and cough-released droplets. *Indoor Air* 25(6):672–82. DOI:10.1111/ina.12177.
- Li, Y. 2011. The secret behind the mask. (Editorial.) *Indoor Air* 21(2):89–91.
- Mead, K., and D. Johnson. 2004. An evaluation of portable high-efficiency particulate air filtration for expedient patient isolation in epidemic and emergency response. *Annals of Emergency Medicine* 44(6):635–45.
- Mead, K.R., A. Feng, D. Hammond, and S. Shulman. 2012. *In-depth report: Expedient methods for surge airborne isolation within healthcare settings during response to a natural or manmade epidemic*. EPHB Report no. 301-05f. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. www.cdc.gov/niosh/surveyreports/pdfs/301-05f.pdf.
- Miller-Leiden, S., C. Lobascio, J.M. Macher, and W.W. Nazaroff. 1996. Effectiveness of in-room air filtration for tuberculosis control in healthcare settings. *Journal of the Air & Waste Management Association* 46:869–82.
- Mousavi, E., R. Lautz, F. Betz, and K. Grosskopf. 2019. *Academic Research to Support Facility Guidelines Institute & ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170*. ASHRAE Research Project CO-RP3. Atlanta: ASHRAE.
- Nicas, M., and R.M. Jones. 2009. Relative contributions of four exposure pathways to influenza infection risk. *Risk Analysis* 29:1292–303.

- Pantelic, J., and K.W. Tham. 2011. Assessment of the ability of different ventilation systems to serve as a control measure against airborne infectious disease transmission using Wells-Riley approach. *IAQ 2010: Airborne Infection Control—Ventilation, IAQ, and Energy* [CD]. Atlanta: ASHRAE.
- Pantelic, J., G.N. Sze-To, K.W. Tham, C.Y. Chao, and Y.C.M. Khoo. 2009. Personalized ventilation as a control measure for airborne transmissible disease spread. *Journal of the Royal Society Interface* 6(suppl_6):S715–S726.
- Pantelic, J., and K.W. Tham. 2012. Assessment of the mixing air delivery system ability to protect occupants from the airborne infectious disease transmission using Wells-Riley approach. *HVAC&R Research* 18(4):562–74.
- Pantelic, J., and K.W. 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):947–61.
- Pantelic, J., K.W. Tham, and D. Licina. 2015. Effectiveness of a personalized ventilation system in reducing personal exposure against directly released simulated cough droplets. *Indoor Air* 25(6):683–93.
- Roy, C.J., and D.K. Milton. 2004. Airborne transmission of communicable infection—The elusive pathway. *New England Journal of Medicine* 350:17.
- Shaman, J., and M. Kohn. 2009. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(0):3243–48.
- Siegel J.D., E. Rhinehart, M. Jackson, and L. Chiarello. 2007. *2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings*. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention, The Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee.
- Sietsema, M., L. Radonovich, F.J. Hearl, E.M. Fisher, L.M. Brosseau, R.E. Shaffer, and L.M. Koonin. 2019. A control banding framework for protecting the US workforce from aerosol transmissible infectious disease outbreaks with high public health consequences. *Health Security* 17(2):124–32. <http://doi.org/10.1089/hs.2018.0103>.
- Stone, W., O. Kroukamp, D.R. Korber, J. McKelvie, and G.M. Wolfaardt. 2016. Microbes at surface-air interfaces: The metabolic harnessing of relative humidity, surface hygroscopicity, and oligotrophy for resilience. *Frontiers in Microbiology* 7:1563. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01563.
- Subhash, S.S., G. Baracco, K.P. Fennelly, M. Hodgson, and L.J. Radonovich, Jr. 2013. Isolation anterooms: Important components of airborne infection control. *American Journal of Infection Control* 41(5):452–55. DOI: 10.1016/j.ajic.2012.06.004.
- Taylor, S., and M. Tasi. 2018. Low indoor-air humidity in an assisted living facility is correlated with increased patient illness and cognitive decline. *Proceedings, Indoor Air 2018* 744:1–8.
- USDHHS. 2002. *Guidance for Protecting Building Environments from Airborne Chemical, Biological, or Radiological Attacks*. NIOSH Publication No. 2002-139. Washington, DC: United States Department of Health and Human Services.
- USDHHS. 2003. *Guidance for Filtration and Air-Cleaning Systems to Protect Building Environments from Airborne Chemical, Biological, or Radiological Attacks*. NIOSH Publication No. 2003-136. Washington, DC: United States Department of Health and Human Services.

- Yan, J., M. Grantham, J. Pantelic, P.J.B. de Mesquita, B. Albert, F. Liu, S. Ehrman, D.K. Milton, and EMIT Consortium. 2018. Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(5):1081–86. DOI: 10.1073/pnas.1716561115.
- Yang, J., C. Sekhar, D. Cheong Kok Wai, and B. Raphael. 2013. CFD study and evaluation of different personalized exhaust devices. *HVAC&R Research* 19(8):934–46.
- Yang, J., C. Sekhar, D. Cheong, and B. Raphael. 2014. Performance evaluation of an integrated personalized ventilation-personalized exhaust system in conjunction with two background ventilation systems. *Building and Environment* 78:103–10. DOI:10.1016/j.buildenv.2014.04.015.
- Yang, J., S.C. Sekhar, K.W. Cheong, and B. Raphael. 2015a. Performance evaluation of a novel personalized ventilation-personalized exhaust system for airborne infection control. *Indoor Air* 25(2):176–87. DOI:10.1111/ina.12127.
- Yang, J., C. Sekhar, D.K.W. Cheong, and B. Raphael. 2015b. A time-based analysis of the personalized exhaust system for airborne infection control in healthcare settings. *Science and Technology for the Built Environment* 21(2):172–78. DOI:10.1080/10789669.2014.976511.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. 2000. ASHRAE Guideline 12-2000, *Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2010. ASHRAE Research Strategic Plan 2010–2018. Atlanta: ASHRAE. www.ashrae.org/technical-resources/research/research-strategic-plan.
- ASHRAE. 2018. *ASHRAE Position Document on Limiting Indoor Mold and Dampness in Buildings*. Atlanta: ASHRAE. www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/ashrae---limiting-indoor-mold-and-dampness-in-buildings.pdf.
- ASHRAE. 2017. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE.
- Belongia, E.A., B.A. Kieke, J.G. Donahue, R.T. Greenlee, A. Balish, A. Foust, S. Lindstrom, and D.K. Shay. 2009. Effectiveness of inactivated influenza vaccines varied substantially with antigenic match from the 2004–2005 season to the 2006–2007 season. *Journal of Infectious Diseases* 199(2):159–67. DOI: 10.1086/595861.
- BOMA. 2012. *Emergency Preparedness Guidebook: The Property Professional's Resource for Developing Emergency Plans for Natural and Human-Based Threats*. Washington, DC: Building Owners and Managers Association International.
- Brankston, G., L. Gitterman, Z. Hirji, C. Lemieux, and M. Gardam. 2007. Transmission of influenza A in human beings. *Lancet Infectious Disease* 7:257–65.
- Bucher, S.J., P.W. Brickner, C. Wang, R.L. Vincent, K. Becan-McBride, M.A. James, M. Michael, and J.D. Wright. 2008. Safety of upper-room ultraviolet germicidal air disinfection for room occupants: Results from the tuberculosis ultraviolet shelter study. *Public Health Reports* 123:52–60.
- Catanzaro, A. 1982. Nosocomial tuberculosis. *American Review of Respiratory Diseases* 125:559–62.
- CDC. 2001. Recognition of illness associated with the intentional release of a biologic agent. *Journal of the American Medical Association* 286:2088–90.

- CDC. 2003. *Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities*. Atlanta: Center for Disease Control and Prevention.
- CDC. 2014. NIOSH-approved N95 particulate filtering facepiece respirators. Atlanta: Center for Disease Control and Prevention. www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/disp_part/n95list1.html.
- Chu, C.M., V.C. Cheng, I.F. Hung, K.S. Chan, B.S. Tang, T.H. Tsang, K.H. Chan, and K.Y. Yuen. 2005. Viral load distribution in SARS outbreak. *Emerging Infectious Diseases* 11(12):1882–86.
- Cole, E.C., and C.E. Cook. 1998. Characterization of infectious aerosols in health care facilities: An aid to effective engineering controls and preventive strategies. *American Journal of Infection Control* 26(4):453–64.
- D'Alessio, D.J., C.K. Meschievitz, J.A. Peterson, C.R. Dick, and E.C. Dick. 1984. Short-duration exposure and the transmission of rhinoviral colds. *Journal of Infectious Diseases* 150(2):189–94.
- Dick, E.C., C.R. Blumer, and A.S. Evans. 1967. Epidemiology of infections with rhinovirus types 43 and 55 in a group of University of Wisconsin student families. *American Journal of Epidemiology* 86(2):386–400.
- Dick, E.C., L.C. Jennings, K.A. Mink, C.D. Wartgow, and S.L. Inhorn. 1987. Aerosol transmission of rhinovirus colds. *Journal of Infectious Diseases* 156:442–8.
- Duguid, J.P. 1946. The size and duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet nuclei. *The Journal of Hygiene (London)* 44:471–79.
- Fennelly, K.P., J.W. Martyny, K.E. Fulton, I.M. Orme, D.M. Cave, and L.B. Heifets. 2004. Cough-generated aerosols of Mycobacterium tuberculosis: A new method to study infectiousness. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 169:604–609.
- Gao, N.P., and J.L. Niu. 2004. CFD study on micro-environment around human body and personalized ventilation. *Building and Environment* 39:795–805.
- Gao, X., Y. Li, P. Xu, and B.J. Cowling. 2012. Evaluation of intervention strategies in schools including ventilation for influenza transmission control. *Building Simulation* 5(1):29, 37.
- Gwaltney, J., and J.O. Hendley. 1978. Rhinovirus transmission: One if by air, two if by hand. *American Journal of Epidemiology* 107(5):357–61.
- Han, K., X. Zhu, F. He, L. Liu, L. Zhang, H. Ma, X. Tang, T. Huang, G. Zeng, and B.P. Zhu. 2009. Lack of airborne transmission during outbreak of pandemic (H1N1) 2009 among tour group members, China, June 2009. *Emerging Infectious Diseases* 15(10):1578–81.
- Harriman, L., G. Brundrett, and R. Kittler. 2006. *Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings*. Atlanta: ASHRAE.
- Hoge, C.W., M.R. Reichler, E.A. Dominguez, J.C. Bremer, T.D. Mastro, K.A. Hendricks, D.M. Musher, J.A. Elliott, R.R. Facklam, and R.F. Breiman. 1994. An epidemic of pneumococcal disease in an overcrowded, inadequately ventilated jail. *New England Journal of Medicine* 331(10):643–8.
- Klontz, K.C., N.A. Hynes, R.A. Gunn, M.H. Wilder, M.W. Harmon, and A.P. Kendal. 1989. An outbreak of influenza A/Taiwan/1/86 (H1N1) infections at a naval base and its association with airplane travel. *American Journal of Epidemiology* 129:341–48.
- Ko, G., M.W. First, and H.A. Burge. 2002. The characterization of upper-room ultraviolet germicidal irradiation in inactivating airborne microorganisms. *Environmental Health Perspectives* 110:95–101.

- Kujundzic, E., M. Hernandez, and S.L. Miller. 2007. Ultraviolet germicidal irradiation inactivation of airborne fungal spores and bacteria in upper-room air and in-duct configurations. *Journal of Environmental Engineering and Science* 6:1–9.
- Li, Y., G.M. Leung, J.W. Tang, X. Yang, C.Y.H. Chao, J.Z. Lin, J.W. Lu, P.V. Nielsen, J. Niu, H. Qian, A.C. Sleight, H-J. J. Su, J. Sundell, T.W. Wong, and P.L. Yuen. 2007. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment—A multi-disciplinary systematic review. *Indoor Air* 17(1):2–18.
- Li, Y., H. Qian, I.T.S. Yu, and T.W. Wong. 2005. Probable roles of bio-aerosol dispersion in the SARS outbreak in Amoy Gardens, Hong Kong. Chapter 16. In *Population Dynamics and Infectious Disease in the Asia-Pacific*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Li, Y., X. Huang, I.T.S. Yu, T.W. Wong, and H. Qian. 2005. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. *Indoor Air* 15:83–95.
- Lowen, A.C., S. Mubareka, J. Steel, and P. Palese. 2007. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLOS Pathogens* 3:1470–76.
- Mahida, N., N. Vaughan, and T. Boswell. 2013. First UK evaluation of an automated ultraviolet-C room decontamination device (Tru-D). *Journal of Hospital Infection* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2013.05.005>.
- Mandell, G. 2010. *Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases*, 7th ed. London: Churchill Livingstone.
- McLean, R.L. 1961. The effect of ultraviolet radiation upon the transmission of epidemic influenza in long-term hospital patients. *American Review of Respiratory Diseases* 83(2):36–8.
- MDH. 2013. *Airborne Infectious Disease Management Manual: Methods for Temporary Negative Pressure Isolation*. St Paul, MN: Minnesota Department of Health.
- Memarzadeh, F. 2011. Literature review of the effect of temperature and humidity on viruses. *ASHRAE Transactions* 117(2).
- Memarzadeh, F., R.M. Olmsted, and J.M. Bartley. 2010. Applications of ultraviolet germicidal irradiation disinfection in healthcare facilities: Effective adjunct, but not stand-alone technology. *American Journal of Infection Control* 38:S13–24.
- Miller, S.L., J. Linnes, and J. Luongo. 2013. Ultraviolet germicidal irradiation: Future directions for air disinfection and building applications. *Photochemistry and Photobiology* 89:777–81.
- Moser, M.R., T.R. Bender, H.S. Margolis, G.R. Noble, A.P. Kendal, and D.G. Ritter. 1979. An outbreak of influenza aboard a commercial airliner. *American Journal of Epidemiology* 110(1):1–6.
- Myatt, T.A., S.L. Johnston, Z. Zuo, M. Wand, T. Keadze, S. Rudnick, and D.K. Milton. 2004. Detection of airborne rhinovirus and its relation to outdoor air supply in office environments. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 169:1187–90.
- Nardell, E.A., S.J. Bucher, P.W. Brickner, C. Wang, R.L. Vincent, K. Becan-McBride, M.A. James, M. Michael, and J.D. Wright. 2008. Safety of upper-room ultraviolet germicidal air disinfection for room occupants: Results from the tuberculosis ultraviolet shelter study. *Public Health Reports* 123:52–60.

- Nicas, M., W.W. Nazaroff, and A. Hubbard. 2005. Toward understanding the risk of secondary airborne infection: Emission of respirable pathogens. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2:143–54.
- NIOSH. 2009. *Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings*. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-105. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105.
- Noti, J.D., F.M. Blachere, C.M. McMillen, W.G. Lindsley, M.L. Kashon, D.R. Slaughter, and D.H. Beezhold. 2013. High humidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs. *PLOS ONE* 8(2):e57485.
- OSHA. 1999. *OSHA Technical Manual*. Washington, DC: Occupational Safety & Health Administration.
- Osterholm, M.T., N.S. Kelley, A. Sommer, and E.A. Belongia. 2012. Efficacy and effectiveness of influenza vaccines: A systematic review and meta-analysis. *Lancet Infectious Diseases*. 12(1):36–44. DOI: 10.1016/S1473-3099(11)70295-X.
- Peccia, J., H. Werth, S.L. Miller, and M. Hernandez. 2001. Effects of relative humidity on the ultraviolet-induced inactivation of airborne bacteria. *Aerosol Science & Technology* 35:728–40.
- Reed, N.G. 2010. The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. *Public Health Reports* 125(1):15–27.
- Riley, R.L., and E.A. Nardell. 1989. Clearing the air: The theory and application of ultraviolet air disinfection. *American Review of Respiratory Diseases* 139(5):1286–94.
- Riley, R.L., C.C. Mills, F. O'Grady, L.U. Sultan, F. Wittstadt, and D.N. Shivpuri. 1962. Infectiousness of air from a tuberculosis ward—Ultraviolet irradiation of infected air: Comparative infectiousness of different patients. *American Review of Respiratory Diseases* 85:511–25.
- Riley, E.C., G. Murphy, and R.L. Riley. 1978. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *American Journal of Epidemiology* 107:421–32.
- SA Health. 2013. *Guidelines for Control of Legionella in Manufactured Water Systems in South Australia*. Rundle Mall, South Australia: SA Health.
- Schaffer, F.L., M.E. Soergel, and D.C. Straube. 1976. Survival of airborne influenza virus: Effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. *Archives of Virology* 51:263–73.
- Schoen, L.J. 2020. Guidance for building operations during the COVID-19 pandemic. *ASHRAE Journal Newsletter*, March 24, 2020. www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic.
- Sun, Y., Z. Wang, Y. Zhang, and J. Sundell. 2011. In China, students in crowded dormitories with a low ventilation rate have more common colds: Evidence for airborne transmission. *PLOS ONE* 6(11):e27140.
- Sylvain, D., and L. Tapp. 2009. UV-C exposure and health effects in surgical suite personnel. Health hazard evaluation report: HETA-2007-0257-3082. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. www.cdc.gov/niosh/nioshtic-2/20035372.html.

- Tang, J.W. 2009. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *Journal of the Royal Society Interface* 6:S737–S746.
- Tang, J.W., Y. Li, I. Eames, P.K.S. Chan, and G.L. Ridgway. 2006. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *Journal of Hospital Infection* 64(2):100–14.
- Tellier, R. 2006. Review of aerosol transmission of influenza a virus. *Emerging Infectious Disease* 12(11):1657–62.
- VanOsdell, D., and K. Foarde. 2002. *Defining the Effectiveness of UV Lamps Installed in Circulating Air Ductwork—Final Report*. Arlington, VA: Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute.
- Wainwright, C.E., M.W. Frances, P. O'Rourke, S. Anuj, T.J. Kidd, M.D. Nissen, T.P. Sloots, C. Coulter, Z. Ristovski, M. Hargreaves, B.R. Rose, C. Harbour, S.C. Bell, and K.P. Fennelly. 2009. Cough-generated aerosols of *Pseudomonas aeruginosa* and other gram-negative bacteria from patients with cystic fibrosis. *Thorax* 64:926–31.
- Wang, B., A. Zhang, J.L. Sun, H. Liu, J. Hu, and L.X. Xu. 2005. Study of SARS transmission via liquid droplets in air. *Journal of Biomechanical Engineering* 127:32–8.
- Wang, Y., C. Sekhar, W.P. Bahnfleth, K. W. Cheong, and J. Firrantello. 2016. Effectiveness of an ultraviolet germicidal irradiation system in enhancing cooling coil energy performance in a hot and humid climate. *Energy and Buildings* 130, pp. 321–29. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.08.063.
- Wat, D. 2004. The common cold: A review of the literature. *European Journal of Internal Medicine* 15:79–88.
- Wells, W.F. 1948. On the mechanics of droplet nuclei infection; Apparatus for the quantitative study of droplet nuclei infection of animals. *Am J Hyg.* 47(1):1–10. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a119176.
- Wells, W.F. 1955. *Airborne Contagion and Air Hygiene*. Cambridge: Harvard University Press, pp. 191.
- WHO. 2007. *Legionella and the prevention of Legionellosis*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. 2009. *Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. 2014. Influenza: Public health preparedness. Geneva: World Health Organization. www.who.int/influenza/preparedness/en.
- Wong, B.X., N. Lee, Y. Li, P.X. Chan, H. Qiu, Z. Luo, R.X. Lai, K.X. Ngai, D.X. Hui, K.X. Choi, and I.X. Yu. 2010. Possible role of aerosol transmission in a hospital outbreak of influenza. *Clinical Infectious Diseases* 51(10):1176–83.
- Xie, X.J., Y.G. Li, H.Q. Sun, and L. Liu. 2009. Exhaled droplets due to talking and coughing. *Journal of The Royal Society Interface* 6:S703–S714.
- Xie, X., Y. Li, A.T.Y. Chwang, P.L. Ho, and H. Seto. 2007. How far droplets can move in indoor environments—Revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air* 17:211–25.
- Xu, P., E. Kujundzic, J. Peccia, M.P. Schafer, G. Moss, M. Hernandez, and S.L. Miller. 2005. Impact of environmental factors on efficacy of upper-room air ultraviolet germicidal irradiation for inactivating airborne mycobacteria. *Environmental Science & Technology* 39:9656–64.

- Xu, P., J. Peccia, P. Fabian, J.W. Martyny, K. Fennelly, M. Hernandez, and S.L. Miller. 2003. Efficacy of ultraviolet germicidal irradiation of upper-room air in inactivating bacterial spores and mycobacteria in full-scale studies. *Atmospheric Environment* 37:405–19.
- Xu, P., N. Fisher, and S.L. Miller. 2013. Using computational fluid dynamics modeling to evaluate the design of hospital ultraviolet germicidal irradiation systems for inactivating airborne mycobacteria. *Photochemistry and Photobiology* 89(4):792–8.
- Yang, W., and L. Marr. 2012b. Mechanisms by which ambient humidity may affect viruses in aerosols. *Applied and Environmental Microbiology* 78(19):6781. DOI: 10.1128/AEM.01658–12.
- Yang, W., S. Elankumaran, and L.C. Marr. 2012. Relationship between humidity and influenza A viability in droplets and implications for influenza's seasonality. *PLOS ONE* 7(10):e46789. DOI:10.1371/journal.pone.0046789.
- Yu, I.T., Y. Li, T.W. Wong, W. Tam, A.T. Chan, J.H. Lee, D.Y. Leung, and T. Ho. 2004. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *N Engl J Med* 350:1731–39.