

## Ventilación: Herramienta de Ingeniería para el control del SARS-CoV-2

Barrón Santos Francisco Javier<sup>1\*</sup>, Cabrera Espitia Alfonso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía Departamento de Posgrado, Maestría en Ciencias en Salud Ocupacional Seguridad e Higiene, Instituto Politécnico Nacional, Guillermo Massieu Helguera 239, G.A.M. Ciudad de México, C.P. 07200, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Energía. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200, México.

\*Autor para correspondencia: fjbarron@ipn.mx

### Recibido:

7/junio/2021

### Aceptado:

23/octubre/2021

### Palabras clave:

SARS-CoV-2,  
ventilación, control de  
ingeniería.

### Keywords:

SARS-CoV-2,  
Ventilation,  
Engineering control.

### RESUMEN

Actualmente, se ha determinado que la enfermedad COVID19, se encuentra asociada al coronavirus SARS-CoV-2, el cual pertenece a la familia del virus del Síndrome Agudo Respiratorio Severo (SARS), que surgió y afectó a gran parte de la población mundial en el periodo de 2002 a 2004. Desde que se dio a conocer la existencia del virus SARS-CoV-2, se ha discutido sobre la importancia de la transmisión viral a través de pequeñas microgotas en el aire (denominadas comúnmente "aerosoles"). En este trabajo se muestra que la minimización de la transmisión y propagación del SARS-CoV-2, puede ser controlada de manera eficiente a través de la ventilación como control de ingeniería asociada a sistemas como son la filtración de alta eficiencia o la luz UV-C. Con este tipo de controles se puede proporcionar un entorno saludable y seguro en el retorno a las actividades de la población en general.

### ABSTRACT

Currently, it has been determined that COVID19 disease is associated with the SARS-CoV-2 coronavirus, which belongs to the Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) virus family, which emerged and affected a large part of the world's population from 2002 to 2004. Since the SARS-CoV-2 virus became known, the importance of viral transmission through small airborne droplets (also commonly referred as "aerosols") has been discussed. The purpose of this article is to show that the minimization of the transmission and spread of SARS-CoV-2 can be efficiently controlled through ventilation as an engineering control associated with systems such as high efficiency filtration or UV-C light. With these types of controls, it is possible to provide a healthy and safe environment in the return to the activities of the general population.

## Introducción

Actualmente, se ha determinado que la enfermedad COVID19, se encuentra asociada al coronavirus SARS-CoV-2, el cual pertenece a la familia del virus del Síndrome Agudo Respiratorio Severo (SARS), que surgió y afectó a gran parte de la población mundial en el periodo de 2002 a 2004. (Zhu, 2020), indica que el SARS-CoV-2 es un virus monocatenario de Ácido Ribonucleico (ARN) y se encuentra cubierto por una bicapa lipídica, con un tamaño aproximado de partícula de 120 nanómetros.

Asimismo, de acuerdo con la (OMS, 2020a), se tiene evidencia de que el SARS-CoV-2 es transmitido principalmente entre las personas por medio de gotas microscópicas respiratorias y por diferentes formas de contacto, como los fómites por el contacto humano con superficies u objetos.

De igual manera, han establecido que mediante el hablar, toser, estornudos e incluso al cantar, las microgotas que se generan durante estos procesos son las responsables de la transmisión de la enfermedad hacia otra persona.

Este tipo de transmisión, principalmente se caracteriza porque entre las personas no existe un distanciamiento mayor a un metro lo que provoca un contacto estrecho con el individuo que se encuentre contagiado y presente síntomas respiratorios (OMS, 2020a), y sucede debido a que las microgotas expulsadas no son contenidas, se liberan sin control, estas son transportadas por el aire en forma de aerosoles.

La seguridad y salud de todas las personas ha cobrado gran relevancia en este entorno pandémico, esto es debido a que se debe garantizar un entorno que resguarde la salud de la población, ya sea en lugares públicos o en áreas de trabajo. (OMS, 2020a).

Por lo anterior, se han establecido diversos protocolos que coadyuvan a tener estas garantías de salud y seguridad, primero entendiendo el virus y su transmisión, posteriormente la realización y puesta en marcha de los protocolos y la capacitación continua para entender la evolución del virus y su método de transmisión.

Es importante mencionar, que si bien los protocolos establecidos coadyuvan en la mitigación del SARS-CoV-2, es necesario, primero intensificar las medidas establecidas y posteriormente identificar y promover la instalación de controles de ingeniería que permitan incrementar la eficiencia en este proceso de mitigación. En la higiene y seguridad industrial se define un control de ingeniería como cualquier acción que implique el uso de tecnologías, aplicadas a cualquier proceso para la

minimización y materialización de un riesgo y estos controles funcionan independientemente de cualquier decisión humana. (OPS, 2003).

Debido a que la principal vía de transmisión es por medio de los aerosoles (REHVA, 2020), se debe establecer una estrategia que permita la mitigación eficiente del SARS-CoV-2 en espacios comunes, por lo que la ventilación es un control de ingeniería (CDC, 2020b) que, aplicado en la industria, edificios, viviendas, escuelas, oficinas, hospitales, transporte público y en cualquier espacio donde exista el riesgo de transmisión y propagación del SARS-CoV-2 se convierte en una herramienta que reduzca la transmisión y convierta estos espacios de riesgo en entornos seguros.

## Metodología

### Vías de Contagio SARS-CoV-2

Desde que se dio a conocer la existencia del virus SARS-CoV-2, se ha discutido sobre la importancia de la transmisión viral a través de pequeñas microgotas en el aire (también denominadas comúnmente "aerosoles") las principales vías de contagio. Actualmente se reconocen tres principales vías (Figura 1).

A través de gotas de mayor tamaño que pueden depositarse rápidamente en lugares cercanos a donde son expulsadas (diámetros de partícula  $>5-10 \mu\text{m}$ ), asimismo, estas gotas antes de depositarse en cualquier lugar, pueden ser inhaladas por cualquier individuo que se encuentre a una distancia inferior a los 2m. (García-Alamino, 2021).

La vía de transmisión por contacto ocurre por medio del contacto directo con superficies contaminadas, es decir, el tener contacto con superficies contaminadas y posteriormente tocarse ojos, boca, nariz o cualquier otra mucosa donde pueda transmitirse el virus.

Y por último está la vía de contacto por aerosoles, esta se produce cuando las gotas respiratorias se combinan con el aire formando aerosoles y estas pueden llegar al individuo y causarle la infección, cuando los aerosoles son inhalados en una cantidad considerablemente alta en un ambiente cerrado. (Feng, et. al., 2020).

En este sentido, el uso de los términos, aerosoles, gotas, microgotas, rocío, y partículas no siempre son bien definidos y existen confusiones cuando aparecen estos términos. En la Tabla 1 se muestran las diferentes definiciones por parte de distintos sectores de la sociedad y observamos que es difícil alcanzar consensos para la homologación de términos. (Tang, et. al., 2021).

Hasta el momento, con la información disponible los especialistas en el control de infecciones aún no son capaces de determinar cuál es la mayor vía de

transmisión con respecto a las demás. (Morawska et al., 2020).

Múltiples estudios aportan pruebas sólidas de la transmisión de virus por el aire en interiores, especialmente en entornos abarrotados y mal ventilados. (Sun & Zhai, 2020, Nishura et. al., 2020, Wang et. al., 2021). La infección puede producirse a través de todas las rutas en diferentes grados, dependiendo de las circunstancias específicas de la exposición.

**Tabla 1.** Diferencias entre diferentes especialidades en los términos asociados al contagio del SARS-CoV-2. (Tang, et. al., 2021).

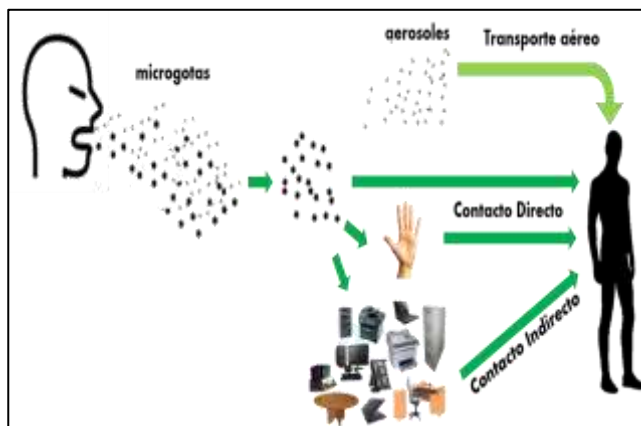
Término	Personal Clínico	Especialistas en Aerosoles	Público en General
Material en suspensión	Es aquel que se puede transmitir a la distancia por ejemplo el sarampión. Requiere de un control Requiere de un respirador tipo N95/FFP2/FFP3 (o equivalente) para el control de la infección	Cualquier partícula en el aire	Cualquier partícula en el aire
Aerosol	Partícula menor a 5mm de diámetro. Se transmite vía aérea. Requiere un respirador N95	Partículas sólidas o líquidas de cualquier tamaño suspendidas en un gas.	Fijador para el pelo, productos de limpieza
Microgotas	Partícula mayor a 5mm cae rápidamente al suelo en una distancia de 1 a 2 metros de la fuente de generación. Requiere una mascarilla tipo quirúrgico.	Partículas líquidas	Aquello que sale de un gotero
Rocío	Residuo de la evaporación de las microgotas o partículas menores a 5mm sinónimo de aerosol	Se refiere a las partículas que son condensadas para formar microgotas	Nunca lo ha oído.
Partículas	Virión	Pequeña partícula sólida o líquida en el aire	Lo asocian a las cenizas

Un control eficaz de la infección requiere protección contra todas las vías de exposición potencialmente importantes (Coleman et al., 2018).

La transmisión por pequeñas microgotas en el aire comúnmente denominados o conocidos como "aerosoles", (diámetros de partícula < 5µm), estos aerosoles, tienden a moverse en el aire mientras están suspendidos y pueden ser inhaladas y depositarse en las zonas inferiores del pulmón.

Estos aerosoles, pueden evaporarse en milisegundos, el tamaño de los coronavirus es del orden de 80 a 160 nm y puede permanecer activos en el aire en condiciones normales en interiores alrededor de 3 horas, mientras que en superficies puede permanecer de 2 a 3 días. (Van Doremalen, et. al., 2020).

En la Figura 1 se puede observar el esquema de las vías de transporte y contagio del COVID-19. (REHVA, 2020).



**Figura 1.** Mecanismos de contagio SARS-CoV-2. Flechas verde oscuro indican el contagio por las microgotas y la flecha verde clara indica el contagio por los aerosoles, modificada (REHVA, 2020).

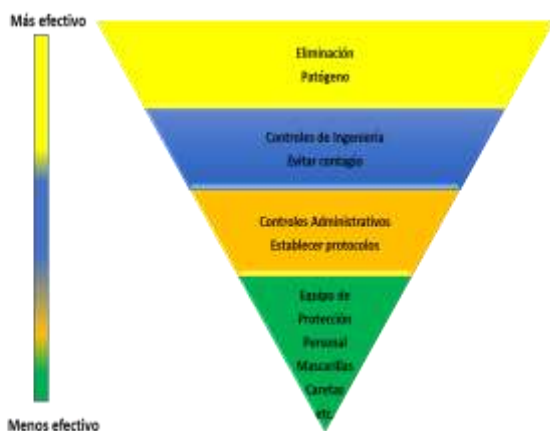
### Minimización y Control del SARS-CoV-2

Con la finalidad de reducir la transmisión del COVID-19, es necesario adoptar controles que al implementarlos aumenten la eficiencia de minimización. En higiene industrial estas medidas son determinadas por controles de ingeniería. De acuerdo con la jerarquía de controles, lo más deseable es eliminar el riesgo, en este caso en particular, la eliminación del virus SARS-CoV-2, si no lo podemos eliminar, pasamos al segundo punto que son los controles de ingeniería, para después pasar por controles administrativos y como última medida se pensaría en el equipo de protección personal. (Figura 2).

La ventilación industrial, forma parte de los controles de ingeniería y con costos relativamente bajos asociados a su instalación, operación y mantenimiento (ASHRAE,

2019), se puede reducir de una manera significativa la transmisión del SARS-CoV-2 y en consecuencia disminuir la probabilidad de que el riesgo el contagio del COVID-19 se materialice.

Es importante mencionar, que al implementar la operación de un sistema de ventilación es necesario continuar con los protocolos ya establecidos previamente para evitar la propagación, es decir, se debe continuar con el lavado de manos continuo, uso de mascarillas o equipo de protección personal y distanciamiento social, para que el conjunto de estas acciones potencialice el efecto de reducción deseado. (Morawska et al., 2020).



**Figura 2.** Pirámide tradicional en la Jerarquización de controles, adaptada de (Morawska et al., 2020).

### Ventilación: un control de ingeniería

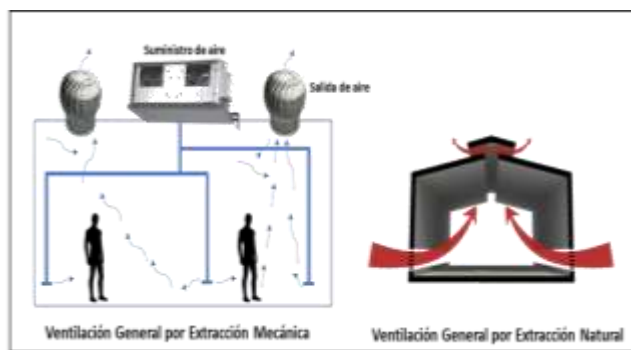
La ventilación se define como el proceso de suministrar aire exterior a un espacio, edificio o local, por medios naturales o mecánicos. El principal objetivo de la ventilación es mantener la calidad y el movimiento del aire en las diferentes áreas de trabajo en condiciones óptimas para la protección de la salud de los trabajadores. Dicho de otra manera, se controla la velocidad con la que se elimina el aire de un determinado espacio y se sustituye con aire con una calidad óptima en un determinado periodo de tiempo. (ACGIH, 2019).

En relación con la supervivencia del SARS-CoV-2 en el aire, Van Doreleman et, al. 2020, demostraron que el virus es estable en aerosoles con una vida media de más de una hora, por lo que puede ser probablemente inhalado por individuos susceptibles causando la infección y, por lo tanto, la propagación de la enfermedad. Por lo anterior, es de vital importancia, realizar el diseño de un sistema de ventilación con los parámetros correctos de diseño, ya que, de esta manera, desempeñará un papel importante en el control y mitigación del COVID-19.

Los principales tipos de ventilación que influyen en la concentración de los aerosoles son: la Ventilación General por Extracción (VGE), como se muestra en la Figura 3, en su forma de ventilación por dilución y la Ventilación por Extracción Localizada (VEL).

La Ventilación por Dilución se produce cuando de disminuyen las concentraciones de los agentes presentes (aerosoles contaminantes) dentro del espacio o volumen de interés, eliminando el aire contaminado y sustituyéndolo por aire limpio. (ACGIH, 2020).

En este sentido, el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos de América (CDC EUA), recomienda este tipo de ventilación para la mitigación en la transmisión del COVID-19, aumentado la cantidad de aire del exterior, si no se cuenta con un sistema de ventilación instalado, se puede recurrir a la Ventilación Natural, abriendo puertas y ventanas para renovar el aire en interiores.

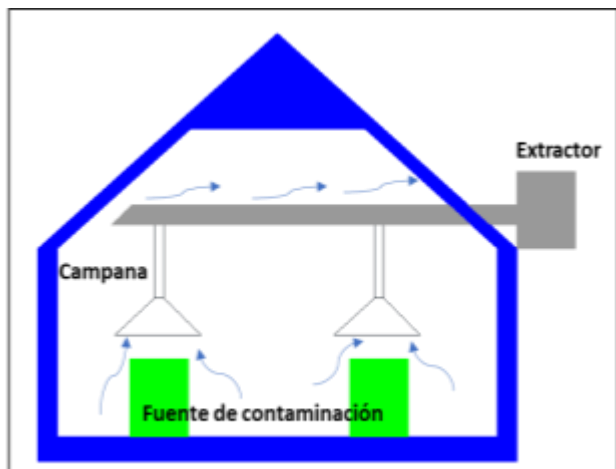


**Figura 3.** Ejemplos de Ventilación General por Extracción, adaptada (ACGIH, 2020).

Por otra parte, la VEL (Figura 4), se presenta cuando los contaminantes generados o presentes en un volumen determinado, se capturan utilizando dispositivos diseñados para este fin, por ejemplo, las campanas de extracción.

La VEL utiliza extractores y conductos específicos para la captura de los contaminantes, es decir, que de acuerdo con la composición fisicoquímica del contaminante se selecciona la velocidad de captura, la geometría de la campana y la capacidad del extractor para capturarlo y enviarlo a un sistema de control.

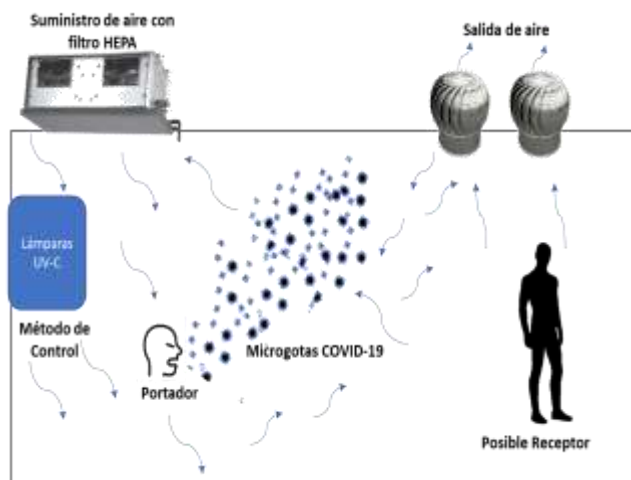
Sin embargo, la principal desventaja de este sistema de ventilación es que el punto de captura es fijo y no siempre se encuentra colocado en el foco de generación del contaminante, por ejemplo, la campana de extracción se tendría que colocar lo más cercano a la cara de las personas. Sin embargo, con un diseño adecuado, también resulta eficiente en la propagación y transmisión del COVID-19.



**Figura 4.** Ventilación por Extracción Localizada, elaboración propia.

Asimismo, es importante resaltar, que si bien la instalación de un sistema de ventilación puede mitigar de manera significativa la transmisión del COVID-19, es necesario también la instalación de un método de control asociado al sistema de ventilación.

Por lo que existen diversos métodos de control que incrementen la eficiencia en la mitigación, ya sea porque las partículas, bacterias y virus contenidos en los aerosoles son retenidas, por ejemplo, el uso de filtros HEPA (High Efficiency Particle Arresting o colector de partículas de alta eficiencia) o las bacterias y virus puedan ser inactivados o destruidos, esto se lograría con la instalación de un dispositivo que irradie luz Ultra Violeta, ubicada en la longitud de onda C (UV-C), la cual se encuentra en el intervalo de 100 a 280nm, y diversos estudios han demostrado que la aplicación de este control en particular es efectivo contra el COVID-19. (Khaiboullina et.al., 2021, Heßling et. al., 2020, Buonanno et.al., 2020, Bedell et. al., 2016).



**Figura 4.** Sistema de ventilación acoplado con equipos de control, Filtración y Desinfección UV-C, elaboración propia.

Es de vital importancia mencionar, que en esta longitud de onda no se debe exponer al ser humano a esta radiación, ya que pueden causar problemas en piel y ojos. (ACGIH, 2020).

### Conclusiones

Por lo anteriormente mencionado, se concluye que la implementación de un sistema de control como lo es la ventilación, en cualquier espacio cerrado o de la optimización del mismo sistema (en el caso que ya exista su instalación), es viable para la mitigación en la transmisión del COVID-19. (ACGIH, 2020).

Con este control de ingeniería es posible garantizar un entorno seguro hacia cualquier población expuesta a lugares cerrados o semi cerrados, en el regreso a sus actividades cotidianas (laborales, escolares, recreación etc.). Sin embargo, para que este tipo de controles de ingeniería presenten una alta eficiencia es necesario poner atención en los siguientes puntos:

- Si ya se cuenta con un sistema de ventilación instalado, es necesario aumentar el flujo de aire, con la finalidad de incrementar la eficiencia.
- De ser posible no recircular el aire que es extraído, a no ser que se tenga un sistema de control instalado en el suministro de aire. Figura 5.
- Instalar más de dos controles de ingeniería para asegurar la minimización de la transmisión. (suministro de aire con sistemas de filtración, Módulos de lámparas UV-C, Purificadores de aire etc.).

Además de estos controles, es importante, no prescindir de las medidas o protocolos implementados por las autoridades federales, estatales y municipales como, controles de temperatura, estaciones de limpieza de manos, uso de mascarillas. Asimismo, es importante recordar que aun cuando la población se encuentre en la etapa de vacunación es importante no caer en una falsa sensación de seguridad y reforzar lo que hemos venido haciendo en nuestro día a día desde hace más de un año, con la finalidad de minimizar la probabilidad que de materialice el contagio por COVID-19, a la población en general.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por ambas instituciones para la búsqueda y obtención de la información presentada en este artículo.

## Referencias

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2019). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design*. Cincinnati, OH: ACGIH.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2020). *Ventilation for Industrial Settings during the COVID-19 Pandemic*. ACGIH.
- ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers). (2019). *Handbook HVAC Application*. Chap 62. Atlanta, GA: ASHRAE.
- Bedell K, Buchaklian AH, Perlman S. (2016). Efficacy of an Automated Multiple Emitter Whole-Room Ultraviolet-C Disinfection System Against Coronaviruses MHV and MERS-CoV. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 37(5):598-9.
- Buonanno M, Welch D, Shuryak I, Brenner DJ. (2020). Far-UVC light efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. *Scientific Reports*. 10:10285
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2020b) *Coronavirus disease 2019 (COVID-19): COVID-19 employer information for office buildings*.
- Coleman K., Nguyen T., Yadana S., Hansen-Estruch C., Lindsley W., Gray G. (2018). Bioaerosol sampling for respiratory viruses in singapore's mass rapid transit network. *Sci. Rep.* 1-7.
- Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Association REHVA. (2020). *Covid 19 guidance document*.
- Feng S., Shen C., Xia N., Song W., Fan M., Cowling B.J. (2020). Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *Lancet Respir Med*. 434-436.
- García-Alamino J. (2021). Aspectos epidemiológicos, clínica y mecanismos de control de la pandemia por SARS-CoV-2: situación en España. *Enfermería Clínica*. S4-S11.
- Heßling M, Hönes K, Vatter P, Lingenfelder C. (2020). Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hyg Infect Control*. 15.
- Khaiboullina S., Uppal T., Dhabarde N., Subramanian V.R., Verma S.C. (2021). Inactivation of Human Coronavirus by Titania Nanoparticle Coatings and UVC Radiation: Throwing Light on SARS-CoV-2. *Viruses*. 13, 19.
- Morawska L., Tang J.W., Bahnfleth W., Bluysen P.M., Boerstra A., Buonanno G., Cao J., Dancer S., Floto A., Franchimon F., Haworth C., Hogeling J., Isaxon C., Jimenez J.L., Kurnitski J., Li Y., Loomans M., Marks G., Marr L.C., Mazzarella L., Melikov K., Miller S., Milton D., Nazaroff P., Noakes C., Peccia J., Querol X., Sekhar C., Seppänen C., Tanabe S., Tellier R., Tham K., Wargoocki A., Wierzbicka A., Yao M. (2020). How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environment International*, 142(105832), 105832.
- Nishiura H., Oshitani H., Kobayashi T., Saito T., Sunagawa, T., Matsui T., et al., (2020). Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *medRxiv*.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020a). *Modes of transmission of virus causing COVID-19: Implications for IPC precaution recommendations*.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2003). *Respuesta de la salud pública a las armas biológicas y químicas*. Biblioteca sede OPS.
- Sun C., Zhai J. Z. (2020). The Efficacy of Social Distance and Ventilation Effectiveness in Preventing COVID-19 Transmission. *Sustainable Cities and Society*. (62)102390.
- Tang W., Bahnfleth W., Bluysen P., Buonanno G., Jimenez J., Kurnitski J., Li Y., Miller S., Sekhar C., Morawska L., Marr L., Melikov A., Nazaroff W., Nielsen V., Tellier R., Wargoocki P., Dancer S. (2021). Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *Journal of Hospital Infection*. 89-96.
- Van Doremalen, N., Bushmaker T., Morris D.H., Holbrook M.G., Gamble A., Williamson, B.N. (2020). Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N. Engl. J. Med*. 382(16):1564-1566.
- Wang J., Huang J., Feng Z., Cao S.J., Haghghat F. (2021). Occupant-density-detection based energy efficient ventilation system: Prevention of infection transmission. *Energy and Buildings*. 240.
- Zhu N.D. (2020): A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, (2019). *New England Journal of Medicine*, 727-733