



LOS AEROSOLES HUMANOS

principal mecanismo de transmisión del nuevo SARS-CoV-2

Luis Jorge Matos-Alviso¹ · Ulises Reyes-Gómez^{1,2*} · José de Jesús Coria-Lorenzo³ · Bonifacio Caballero-Nogués⁴ · María del Carmen Espinosa-Sotero⁵ · Ofelia Pérez-Pacheco² · Katy Lizeth Reyes-Hernández² · Edgar Samuel Aguilar-Figueroa² · Edith Candelas-Delgado² · Francisco Matías Soria-Saavedra²

RESUMEN

La pandemia por SARS-CoV-2 se ha diseminado rápidamente en el mundo. Sus principales mecanismos de transmisión son mediante gotitas de saliva o secreciones bronquiales, y por contacto con superficies contaminadas con el virus. La formación de aerosoles al hablar, toser y estornudar son el principal mecanismo de transmisión aérea; la realización de procedimientos diagnósticos y terapéuticos intrahospitalarios representan el mayor riesgo de contagio. La llegada del nuevo virus SARS-CoV-2 y la consecuente declaración de pandemia por parte de la Organización Mundial de la Salud —con una diseminación muy rápida y silenciosa entre la población mundial— ha provocado un gran interés por conocer su forma de transmisión para poder contenerlo, combatirlo y, así, proteger a la población. Al tratarse de un virus nuevo y desconocido, se ignoraban muchos aspectos y, al inicio de la pandemia, su comportamiento fue comparado con el de otros coronavirus más cercanos y parecidos (como el SARS-CoV-1), por lo cual se recomendaron las mismas medidas de prevención. Desde hace mucho tiempo se sabe que los humanos producen continuamente aerosoles naturales a través de la respiración normal, que aumentan con una respiración profunda y al ha-

ABSTRACT

The SARS-CoV-2 pandemic has spread rapidly around the world. Its main transmission mechanisms are through saliva droplets or bronchial secretions, and by contact with surfaces contaminated with the virus. The formation of aerosols when speaking, coughing and sneezing are the main airborne transmission mechanism; performing in-hospital diagnostic and therapeutic procedures represent the greatest risk of contagion. The arrival of the new SARS-CoV-2 virus and the consequent declaration of a pandemic by the World Health Organization —with a very rapid and silent spread among the world population— has caused great interest in knowing its form of transmission to be able to contain it, combat it and, thus, protect the population. Being a new and unknown virus, many aspects were ignored and, at the beginning of the pandemic, its behavior was compared with that of other closer and similar coronaviruses (such as SARS-CoV-1), for which the same prevention measures. It has long been known that humans continually produce natural aerosols through normal breathing, increasing with deep breathing and by talking, coughing, sneezing or singing. A fraction of the aerosols generated naturally can be inhaled by

¹Neonatólogo Adscrito al Grupo de Investigación en Infectología Pediátrica (GIIP).

²Pediatra Adscrito a la Unidad de Investigación en Pediatría del Instituto San Rafael, San Luis Potosí.

³Infectólogo Pediatra del Hospital Infantil de México Federico Gómez.

⁴Neonatólogo Adscrito a la División de Atención Obstétrica y Perinatal del Instituto Mexicano del Seguro Social.

⁵Infectóloga Pediatra Adscrita al Grupo de Investigación en Vacunas (GIV) del Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga.

* Correspondencia: Unidad de Investigación en Pediatría del Instituto San Rafael Anáhuac 460, Col. Tequisquiapan, C.P. 78250, San Luis Potosí, San Luis Potosí.
Teléfono: (951) 547-2165 • e-mail: reyes_gu@yahoo.com

blar, toser, estornudar o cantar. Una fracción de los aerosoles generados de manera natural pueden ser inhalados por una o varias personas, convirtiéndose así en uno de los principales mecanismos de transmisión de las enfermedades respiratorias.

PALABRAS CLAVE

Mecanismo de transmisión, gotas de flügge, núcleos, micras, respiración, exhalar, toser, estornudar, aerosoles, fómite, vía aérea.

one or more people, thus becoming one of the main transmission mechanisms of respiratory diseases.

KEY WORDS

Transmission mechanism, flügge drops, nuclei, microns, breathing, exhaling, coughing, sneezing, aerosols, phomite, airway.

Historia

Mecanismos de transmisión de los virus respiratorios

Para entender los mecanismos de transmisión de los virus respiratorios y su propagación por la inhalación de partículas infecciosas en el aire es preciso referirnos a las investigaciones del bacteriólogo e higienista alemán Carl Georg Friedrich Wilhelm Flügge (1897) quien, además de haber sido profesor de las Universidades de Gotinga, Breslavia y Berlín, realizó importantes investigaciones sobre la forma de transmisión

Se ha demostrado que toser, estornudar o hablar produce AEROSOLES que pueden quedar SUSPENDIDOS EN EL AIRE y ser inhalados por otra persona

de algunas enfermedades infectocontagiosas como la tuberculosis, el cólera y la malaria; también demostró que algunos agentes patógenos estaban contenidos en las gotitas de saliva exhaladas por un enfermo, a las cuales se refirió como "microgotas de Flügge".¹ Su descubrimiento revolucionó el conocimiento en este campo y ese mismo año motivó a Jan Mikuliez-Radecki a promover el uso de mascarillas quirúrgicas hechas a base de gasa.^{2,3}

¿Qué son las gotitas de Flügge?

Las gotitas de Flügge (o flush) son partículas diminutas expeditas al hablar, toser, estornudar, respirar o cantar, que pueden transportar microorganismos infecciosos de un individuo a otro. Estas partículas miden de 0.5 a 10 μm y pueden permanecer hasta 30 minutos suspendidas en el aire, lo que les permite ingresar a la vía aérea—inclusive hasta los sacos alveolares— de otro individuo, donde tienen contacto con los macrófagos. En el caso de la tuberculosis se le llama "unidad bacilar" a una gota de flush y esta llega a contener de uno a tres bacilos tuberculosos.^{4,5}

En el caso de los virus, estos pueden estar contenidos en las partículas exhaladas de una persona y llegan a tener un diámetro menor a cinco micras; para tener una mejor comprensión de lo que esto significa, una micra (μm) es la millonésima parte de un metro, es decir, un milésimo de milímetro. Expuesto lo anterior, es entendible que el tamaño de tales partículas dispersadas en el aire propicie la formación de un aerosol que puede ser aspirado por otras personas y, de esta manera, ser un medio de transmisión para los microorganismos conocidos y nuevos. Se ha demostrado que toser, estornudar e inclusive hablar genera nubes de partículas y aerosoles que pueden ser transportados por el aire, cuyo tamaño va de unos pocos milímetros hasta micras. Las

partículas más grandes ($>50 \mu\text{m}$) caen al suelo en forma casi inmediata, las de tamaño intermedio ($10\text{-}50 \mu\text{m}$) tardan varios minutos suspendidas en el aire antes de caer a la superficie y las más pequeñas ($<5 \mu\text{m}$) —que incluyen los núcleos de partículas mayores que se evaporan— se quedan en el aire suspendidas por horas, estas últimas constituyen un aerosol y actualmente son conocidas como “microgotículas”. La mayoría de las partículas que contienen virus (99%) se encuentran dentro de los aerosoles.⁶⁻¹²

¿Qué es un aerosol?

Un aerosol es un conjunto de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, que se encuentra en suspensión en estado gaseoso.⁷⁻¹²

¿Qué es la transmisión por aerosol?

La transmisión por aerosol ocurre cuando la mezcla de microorganismos (virus, bacterias u hongos) con gotitas flush o secreciones respiratorias es expelida por un individuo y, al encontrarse dispersa en el aire, queda suspendida y puede viajar largas distancias, además de ser inhalada por otra persona; si esta es susceptible, es posible que adquiera una infección respiratoria. En condiciones normales, nuestras exhalaciones son expulsadas en forma de aerosoles conformados por gotitas y núcleos sólidos. Cuando el aerosol contiene microorganismos patógenos, se convierte en un vehículo aéreo capaz de ocasionar una infección que afecte desde un individuo o una comunidad, hasta una región o a todo el mundo (pandemia).

Por otra parte, las principales rutas de transmisibilidad de los microorganismos respiratorios son la boca y las fosas nasales, las cuales pueden albergar a estos agentes en la saliva y las secreciones nasales; de esta manera, una persona puede ser portadora (asintomática o pre-sintomática), o bien, mostrar manifestaciones claras de infección (sintomática). Este mecanismo también ocurre en el caso del virus SARS-CoV-2.¹³

Mecanismo de transmisión humano-humano del SARS-CoV-2

Al toser o estornudar, una persona expulsa gotitas de flush con núcleos que, dependiendo de su tamaño, se moverán y transportarán en el aire, y penetrarán

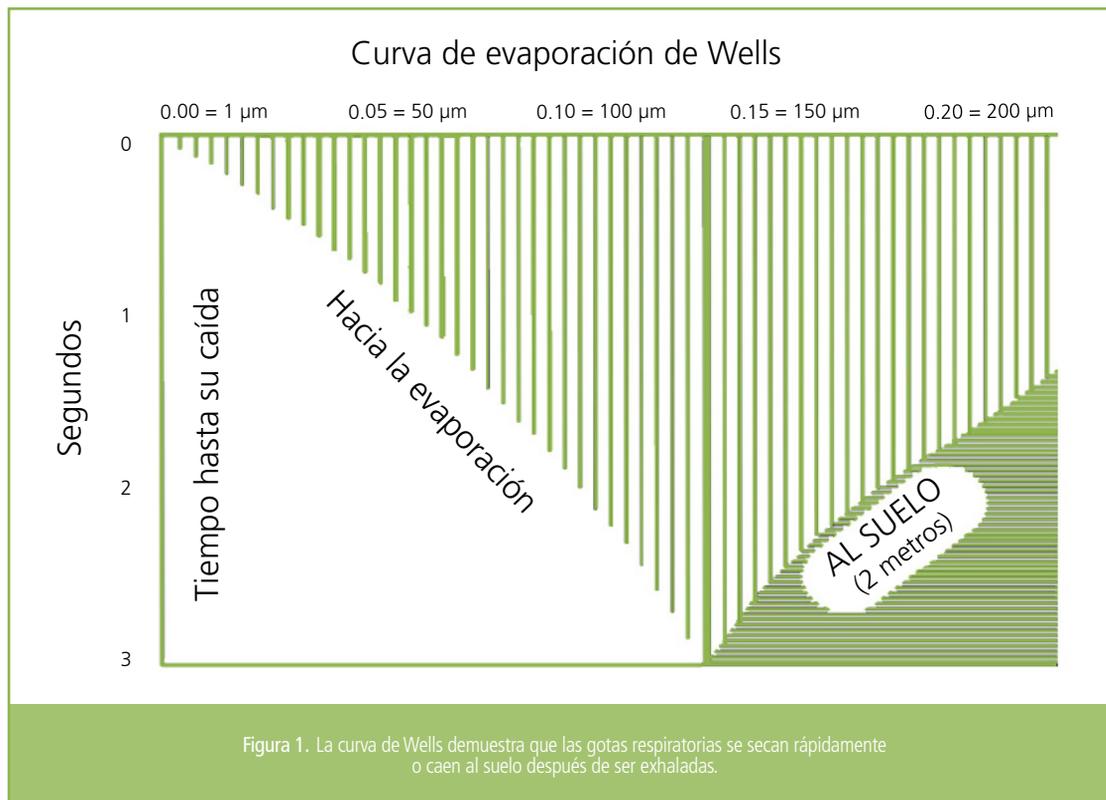


en la vía respiratoria una vez que son aspiradas hacia los pulmones. En 1916, Chausse y H. Magne midieron la velocidad del aire exhalado al estornudar y demostraron que estas podían desplazarse a 100 metros/segundo; es decir, a 360 km/hora. La velocidad de desplazamiento de las gotitas de flush $>10 \mu\text{m}$ al toser fue de 16 a 48 metros/segundo. Cabe recordar que la transmisión de una infección también ocurre de forma indirecta; es decir, cuando la saliva o las secreciones nasales se transfieren a objetos inanimados (fómites) que luego son tocados por otra persona, el contagio ocurre cuando las manos del segundo sujeto tienen contacto con sus ojos, nariz o boca.¹³⁻¹⁴

¿Qué es un fómite?

Un fómite es cualquier objeto carente de vida o sustancia que, si se contamina con algún patógeno viable (bacteria, virus, hongo o parásito) es capaz de transferirlo de un individuo a otro. Por eso se les denomina “vectores pasivos”.¹⁵

EL AIRE
EXHALADO AL
ESTORNUDAR
conforma un
aerosol con la
capacidad de
desplazarse a 360
km/hora



Persistencia del virus SARS-CoV-2 en aerosol y fómites

La permanencia del SARS-CoV-2 viable en superficies de cobre, cartón, acero inoxidable y plástico es de 4, 24, 48 y 72 horas, respectivamente, a una temperatura de 21 a 23 °C y una humedad relativa de 40%. La permanencia del virus en superficies de papel de impresión o pañuelos desechables (bajo condiciones de 22 °C y 60% de humedad) es de tres horas; en superficies de madera, ropa o vidrio de uno a dos días; y en superficies de acero inoxidable y plástico, así como en billetes y mascarillas quirúrgicas, puede ser mayor a cuatro días. Investigaciones recientes realizadas por Doremalem y cols. observaron que el SARS-CoV-2 que permanece en forma de aerosol reduce su vida media a la mitad de su actividad viral cada hora; también demostraron que luego de tres horas de haber iniciado el experimento, aún se registraron virus viables en el aerosol. Recientemente se ha detectado la viabilidad del SARS-CoV-2 durante tres horas en aerosoles bajo condiciones experimentales, con una vida media de una

hora (IC: 95%, 0.64-2.64); dicho patrón es muy similar al observado con el SARS-CoV-1. Desde 1934, William F. Wells ha documentado un par de aspectos importantes respecto al comportamiento de las gotitas de flush y su evaporación:¹⁶⁻¹⁹

1. La saliva y sus gotitas están compuestas en 99% por agua y todas ellas son menores a 140 μm, de manera que se evaporan antes de llegar al suelo.
2. Las gotitas de flush forman minúsculos núcleos o "residuos" que permanecen suspendidos durante horas e, inclusive, días. Mediante un cálculo sencillo creó una curva de evaporación de Wells (Figura 1) que muestra los tiempos de evaporación para los distintos diámetros de los núcleos.

¿Qué tantas partículas se exhalan por la nariz y boca?

El número de partículas o núcleos que en promedio se exhalan depende del mecanismo que

provoca la exhalación; es decir, hablar, toser o estornudar. El habla es el mecanismo más común, con un promedio de 250 núcleos; la tos puede exhalar hasta 5 000 núcleos; el estornudar permite la exhalación de hasta un millón de núcleos. Las partículas más pequeñas quedan suspendidas por más de un día en un ambiente no ventilado; en ese sentido, la mayoría de los estudios previos al año 2010 no tomaron en cuenta este aspecto ni exploraron a detalle la forma de transmisión de las infecciones, principalmente virales, por medio de aerosoles o microgotículas (núcleos con un tamaño mucho menor en micras). Esta omisión es muy relevante, sobre todo para todas aquellas partículas de diámetro inferior a 0.5 μm , que son las que pueden desplazarse por el aire hasta los alvéolos pulmonares de otros sujetos. Además, también existen muchas bacterias que tienen tamaños menores a esa cifra.

En 2012, tras la epidemia por influenza H1N1, Zayas y cols. lograron cuantificar que 97% las partículas contenidas en el estornudo de las personas infectadas por este virus medía entre 1.0 y 0.1 μm . Tomando en cuenta datos previos sobre el tamaño del virus de la influenza H1N1 (de 0.08 a 0.16 μm de diámetro) se puede establecer que las partículas virales pueden quedar suspendidas en el aire formando un aerosol. Actualmente, sabemos

que en un estornudo o tos se pueden expeler alrededor de 100 000 microorganismos al medio ambiente en forma de aerosol. Es posible concluir que, sin lugar a dudas, los aerosoles producidos por estos mecanismos representan el medio más importante de transmisión viral de persona a persona, y este conocimiento también se aplica en el contexto de la nueva pandemia por SARS-CoV-2.¹⁶⁻¹⁸

¿Cuál es la capacidad de virulencia de las gotitas de flush y las microgotículas?

Ya ha quedado demostrado que una persona infectada exhala gotitas de flush y/o aerosoles cargados de virus casi cada vez que abre la boca; sin embargo, aún no está del todo claro cuál es la capacidad infecciosa de un aerosol y qué distancia puede viajar tras su exhalación. Lo que sí se sabe es que la capacidad infecciosa depende de la cantidad de la carga viral del inóculo, de la fase en la que esta fue exhalada (portador asintomático, pre-asintomático o sintomático) y del tamaño de las partículas expulsadas.¹⁹⁻²¹ No obstante, aún queda una pregunta por resolver: ¿cuál es la carga viral o dosis mínima de virus SARS-CoV-2 para producir contagio?

- Lavarse las manos frecuentemente con agua y jabón, o con algún desinfectante a base de alcohol, así como evitar la transmisión de agentes infecciosos que se diseminan por contacto directo
- Evitar tocarse los ojos, nariz y boca
- Usar cubrebocas para proteger la nariz y la boca, que evitan la transmisión aérea de persona a persona, mediante gotas de flush o aerosoles que contienen agentes infecciosos y pueden quedar suspendidos en el aire
- Mantener distanciamiento social entre las personas de al menos dos metros de distancia, siempre que sea posible, debido a que las gotitas de flush o aerosoles pueden alcanzar diferentes distancias, de acuerdo con su dimensión

Tabla 1. Recomendaciones básicas universales para la prevención de la transmisión del SARS-CoV-2 con base en el mecanismo de transmisión por aire de aerosoles.²²⁻²⁵

Prevención de contagios

Para la atención de pacientes con sospecha o confirmación de contacto con el virus SARS-CoV-2 existen una serie de medidas preventivas (Tabla 1) que también se implementan durante aquellos procedimientos médicos que son generadores de aerosoles, como el aspirado de secreciones bronquiales o las maniobras de intubación endotraqueal.²²

Además de las medidas de precaución básicas, en situaciones de atención hospitalaria se recomienda la protección ocular con gafas y una barrera de protección facial con mascarilla transparente y, de ser posible, utilizar una caja de protección para intubación endotraqueal.^{23-29,30}

Conclusiones

En condiciones normales, los humanos producimos aerosoles a través de la respiración,

que aumentan con una respiración profunda, el estornudo, la tos, el habla; desde luego, su producción también se ve incrementada en el transcurso de una enfermedad respiratoria. La exhalación de innumerables gotitas de flush y los núcleos que se encuentran en ellas contienen microorganismos de diversos tamaños y, de acuerdo con esto, algunos pueden evaporarse para dejar una pequeña partícula reseca. Las gotitas más grandes caen al suelo, sobre los objetos y las personas cercanas después de ser exhaladas; las partículas de menor tamaño (<5 µm) quedan suspendidas en el aire en forma de aerosoles o microgotículas. Los estudios basados en evidencia han podido determinar que el virus SARS-CoV-2 puede permanecer activo por mucho tiempo en forma de partículas de aerosol suspendidas en el aire. Este conocimiento refuerza la importancia de seguir implementando las medidas preventivas entre la población, especialmente el lavado de manos, el distanciamiento social y el uso correcto del cubrebocas, para poder seguir afrontando la pandemia y minimizar los contagios.

REFERENCIAS

1. Murillo GGU. Las gotitas de Flugge. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* 2009;(47):290.
2. Steimlé RH. El quirófano, historia, evolución y perspectivas. *Archivos de Neurociencias (Mex)* 2008;13(1):43-53.
3. Stern D, López ON, Pérez FC, González MR, Canto OF, Barrientos GT. Revisión rápida del uso de cubrebocas quirúrgicos en el ámbito comunitario e infecciones respiratorias agudas. *Salud Pública de México* 2020;62:319-30.
4. Dickinson-Bunnack ME. Abordaje clínico. *Tuberculosis. Atención Familiar*. [Internet]. 2020. [Consultado el 10 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.unamenlinea.unam.mx/recursos/revista-atencion-familiar>
5. Marrero FA, Cué BM. Tuberculosis: una revisión para médicos de atención primaria. *Rev Med* 1998;11(4):196-209.
6. To KK, Tsang OT, Yip CC, Chan KH, Wu TC, Chan JM, *et al*. Consistent detection of 2019 novel coronavirus in saliva. *Clin Infect Dis* 2020;71(15):841-3.
7. Tellier R. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. *Journal of the Royal Society Interface* 2009;6:783-90.
8. Yang W, Elankumaran S, Marr LC. Concentrations and size distributions of airborne influenza A viruses measured indoors at a health centre, a day-care centre and on aeroplanes. *J R Soc Interface* 2011;8(61):1176-84.
9. López CS. Interacciones de los virus con su célula huésped. *Biología molecular del virus. Revista Latinoamericana de Microbiología* 2006;48(2):196-202.
10. Rosete O, Archundia S, Cabello G, Monjarrez Z. Patogenia de las infecciones respiratorias por virus. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex* 2002;15(4):239-54.
11. Lizarbe-Iracheta MA. Bacterias y virus ¿cómo nos defendemos? *Rev R Acad Cienc Exact Fis Nat (Esp)* 2009;103(1):115-72.

12. Asadi S, Bouvier N, Wexler AS, Ristenpart WD. The coronavirus pandemic and aerosols: Does COVID-19 transmit via expiratory particles? *Aerosol Sci Technol* 2020;0(0):1-4.
13. Liu J, Liao X, Qian S, Yuan J, Wang F, Liu Y, et al. Community transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, Shenzhen, China, 2020. *Emerg Infect Dis* 2020;26(6):1320-3.
14. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med* 2020;382(13):1199-207.
15. Boone SA, Gerba CP. Significance of fomites in the spread of respiratory and enteric viral disease. *Appl Environ Microbiol* 2007;73(6):1687-96.
16. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 2020;382(16):1564-7.
17. To KK, Tsang OT, Yip CC, Chan KH, Wu TC, Chan JM, et al. Consistent detection of 2019 novel coronavirus in saliva. *Clin Infect Dis* 2020;71(15):841-3.
18. Li Y, Qian H, Hang J, Chen X, Hong L, Liang P, et al. Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *MedRxiv* 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728>.
19. Wrapp D, Wang N, Corbett KS, Goldsmith JA, Hsieh C-L, Abiona O, et al. Cryo-EM structure of the 2019-nCoV spike in the prefusion conformation. *Science* 2020;367(6483):1260-3.
20. Gao Y, Yan L, Huang Y, Liu F, Zhao Y, Cao L, et al. Structure of the RNA-dependent RNA polymerase from COVID-19 virus. *Science* 2020;368(6492):779-82.
21. Zhang L, Lin D, Sun X, Curth U, Drosten C, Sauerhering I, et al. Crystal structure of SARS-CoV-2 main protease provides a basis for design of improved ketoamide inhibitors. *Science* 2020;368(6489):409-12.
22. Vías de transmisión del virus de la COVID-19 repercusiones para las recomendaciones relativas a las repercusiones en materia de prevención y control de las infecciones. World Health Organization. [Internet]. 2020. [Consultado el 09 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/newsroom/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>
23. Medidas de protección básicas contra el nuevo coronavirus. World Health Organization. [Internet]. 2020. [Consultado el 09 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
24. World Health Organization and the United Nations Children's Fund (UNICEF). Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus. World Health Organization. [Internet]. 2020. [Consultado el 11 de julio de 2020]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331305/WHO-2019-NCoV-IPC_WASH-2020.1-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
25. Kimball A, Hatfield KM, Arons M, James A, Taylor J, Spicer K, et al; CDC COVID-19 Investigation Team. Asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections in residents of a long-term care skilled nursing facility - King County, Washington, March 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2020;69(13):377-81.
26. Carrillo E, Mejía G, Sánchez J, Lomeli T, Vázquez L, Pérez C, et al. Manejo de la vía aérea en el perioperatorio de los pacientes infectados con COVID-19. *Revista de Anestesiología* 2020;43(2):97-108.
27. Zhao S, Ling K, Yan H, Zhong L, Peng X, Yao S, et al. Anesthetic management of patients with suspected or confirmed 2019 novel coronavirus infection during emergency procedures. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2020;34(5):1125-31.
28. Clinical management of severe acute respiratory infections when novel coronavirus is suspected: What to do and what not to do. World Health Organization. [Internet]. 2020. [Consultado el 10 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.who.int/csr/disease/coronavirus_infections/InterimGuidance_Clinical-Management_NovelCoronavirus_11Feb13u.pdf
29. Cook TM. Strategies for the prevention of airway complications. A narrative review. *Anesthesia* 2018;73:93-111.
30. Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19). World Health Organization. [Internet]. 2020. [Consultado el 10 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>

Este artículo debe citarse como:

Matos-Alviso JL, Reyes-Gómez U, Coria-Lorenzo JJ, Caballero-Nogués B, Espinosa-Sotero MC, Pérez-Pacheco O, Reyes-Hernández KL, Aguilar-Figueroa ES, Candelas-Delgado E, Soria-Saavedra F. Los aerosoles humanos, principal mecanismo de transmisión del nuevo SARS-CoV-2. *Rev Enferm Infecc Pediatr* 2021;33(135):1809-15.