

Principios físicos y medidas de mitigación asociadas a la transmisión por aerosol del SARS-COV-2

Physical principles and containment measures associated to aerosol transmission of SARS-COV-2

Jorge Homero Wilches Visbal^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-3649-5079>

Midian Clara Castillo Pedraza¹ <https://orcid.org/0000-0003-3170-3959>

¹Universidad del Magdalena, Facultad de Ciencias de la Salud. Santa Marta, Colombia.

*Autor para la correspondencia: jhwilchev@gmail.com

RESUMEN

La COVID-19 es una enfermedad respiratoria aguda causada por el coronavirus SARS-CoV-2 que se ha extendido a todo el mundo, ocasionando daños económicos y sociales irreparables. Su carácter pandémico obedece a la alta transmisibilidad del SARS-CoV-2, la cual puede ocurrir por gotas y/o aerosoles. La transmisión por aerosoles es la ruta de contagio menos comprendida y más difícil de controlar. Por tanto, el objetivo de este trabajo es revisar los principios físicos básicos relacionados con la transmisión por aerosoles, así como algunas medidas de mitigación que se han utilizado para minimizar el contagio por esta vía. Se encontró que los factores ambientales que favorecen este tipo de transmisión son: baja humedad y temperatura, alta polución y poca iluminación solar. Por tanto, se ha sugerido el uso de máscaras N95 bien ajustadas al contorno facial, iluminación solar por más de 15 min, aumentar la humedad y la temperatura, así como la utilización de extractores que hagan descender las corrientes de aire circundante. Educar y crear conciencia en la población es imprescindible en esta batalla.

Palabras clave: aerosol; gota; evaporación; sedimentación; máscara; transmisión; COVID-19; SARS-CoV-2.

ABSTRACT

COVID-19 is an acute respiratory disease caused by the SARS-CoV-2 coronavirus that has spread throughout the world, causing irreparable economic and social damage. Its pandemic character is due to the high transmissibility of SARS-CoV-2, which can occur through drops and / or aerosols. Aerosol transmission is the least understood and most difficult route of infection to control. Therefore, the objective of this work is to review the basic physical principles related to aerosol transmission as well as some mitigation measures that have been taken for minimizing the contagion through this route. The environmental factors that favor this type of transmission are those such as low humidity and temperature, high pollution, and little sunlight. The use of N95 masks well-adjusted to the facial contour, solar lighting for more than 15 min, increasing humidity and temperature, as well as the employment of extractors that promote downdrafts

are suggested. Educating and raising awareness in the population is essential in this battle.

Keywords: aerosol; drop; evaporation; sedimentation; mask; transmission; COVID-19; SARS-CoV-2.

Recibido: 20/02/2021

Aceptado: 10/03/2021

Introducción

Desde su aparición en diciembre de 2019, la COVID-19 ha representado un desafío sin precedentes para la humanidad una vez que las medidas de contención han resultado insuficientes, debido a la alta tasa de transmisión del SARS-CoV-2^(1,2,3,4) y al impacto socioeconómico que han generado varias de ellas.^(5,6,7)

La transmisión del coronavirus puede suceder mediante dos vías: i) directa por contacto estrecho (secreciones nasales u orales expulsadas por individuos presintomáticos, asintomáticos o sintomáticos que ingresan en las vías respiratorias o conjuntiva de individuos sanos) o fómites (superficies inanimadas contaminadas que pueden contagiar a individuos sanos al tocarlas); ii) indirecta por inhalación de aerosoles.⁽³⁾ Entre las dos vías de transmisión, la menos entendida y más difícil de contener es la indirecta,^(3,4) pues agentes químicos de uso común como el alcohol no inactivan al coronavirus en aire⁽⁵⁾ y la cuarentena es una medida social y económicamente insostenible a largo plazo.⁽⁸⁾

Una apropiada comprensión de las vías de transmisión es vital para el desarrollo de medidas efectivas contra la propagación,⁽⁹⁾ dado que el riesgo de infección es proporcional al número de contactos y su duración, a la densidad y la distancia física entre individuos,^(3,5) a la carga viral emitida,⁽²⁾ y al tiempo de permanencia del coronavirus en aerosoles.^(4,5)

El objetivo de este artículo es revisar los conceptos físicos básicos que describen el mecanismo de transmisión por aerosoles y algunas medidas de mitigación que minimicen la propagación.

Desarrollo

Como cualquier enfermedad respiratoria, la COVID-19 puede transmitirse a través de partículas de líquido cargadas de virus expulsadas por la boca y la nariz de un individuo infectado al toser, estornudar, espirar o conversar. El destino de las partículas depende del momento lineal, la sedimentación (causada por la gravedad) y la evaporación.⁽¹⁰⁾

La transmisión del coronavirus entre seres humanos puede darse por contacto con partículas de líquido (gotas) o aerosoles.⁽²⁾ La diferencia entre estas vías viene dada por el valor crítico del diámetro de las partículas de líquido.^(3,11) Asumiendo como diámetro crítico uno con valor de 10 μm , los aerosoles serán definidos como gotas pequeñas ($< 10 \mu\text{m}$) suspendidas en aire. Entre tanto, la transmisión por contacto se relaciona con gotas grandes ($\geq 10 \mu\text{m}$).⁽¹¹⁾

En la transmisión por contacto, el momento y la masa de las gotas son suficientemente elevados como para que estas impacten y se desparramen en la superficie. En este caso, las partículas líquidas dibujan una trayectoria

balística.^(3,10,11) En la transmisión por aerosoles, las gotas pueden desplazarse a lo largo de las líneas de corrientes de aire o permanecer mucho tiempo suspendidas, debido a su menor momento y masa, las que pueden ser posteriormente inhaladas^(2,3,10) (Fig.).

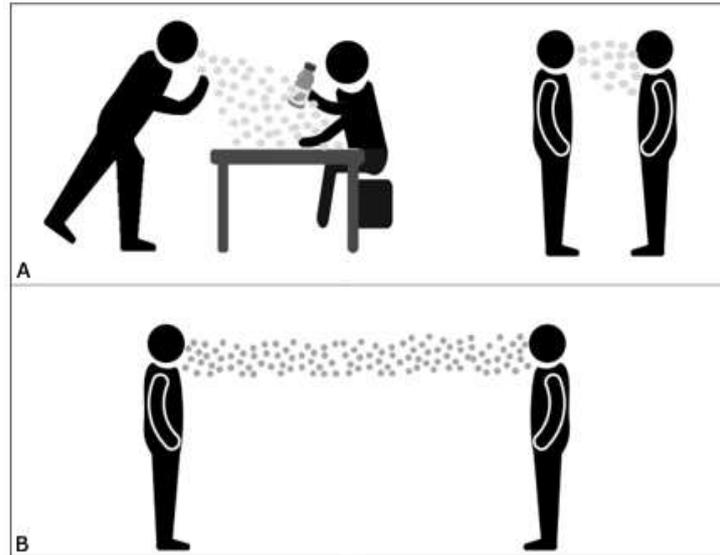


Fig. - Tipos de transmisión del SARS-CoV-2 en ambientes cerrados o abiertos: (A) transmisión indirecta por gotas: fómites (izquierda) y contacto estrecho (derecha); (B) transmisión indirecta por aerosoles.

En ambientes con flujos estacionarios (quietud), la velocidad de sedimentación, v_s , viene dada por:⁽²⁾

$$v_s = \frac{gsd^2}{v_a}, \quad (1)$$

donde: g es la aceleración de la gravedad, s , la densidad relativa de gotas en el aire, d , el diámetro de la gota y v_a , la viscosidad cinemática del aire.

De la ecuación (1) se puede deducir que el tiempo de sedimentación, t_s , sería:

$$t_s = \frac{h}{v_s}, \quad (2)$$

con h siendo la altura de caída de la gota.

Al reemplazar la ecuación (1) en (2) se observa que el tiempo de sedimentación es inversamente proporcional al diámetro de la gota, es decir, $t_s \propto d^{-2}$. Como el tiempo de evaporación, t_e , es inverso al de sedimentación, a medida que aumenta el diámetro de la gota se incrementa el tiempo de evaporación, o sea, $t_e \propto d^2$. Consecuentemente, la transmisión por contacto suele ser de corto alcance, mientras la de aerosol, de largo alcance.⁽⁹⁾ En la práctica estos tiempos pueden cambiar atendiendo a la presencia de flujos turbulentos, caracterizados por corrientes de aire a gran velocidad.⁽³⁾ En esta situación, el alcance de las gotas grandes puede verse incrementado.⁽¹¹⁾

El grado de dispersión del aerosol está críticamente asociado a la difusividad atmosférica (dispersión por diferencia de concentración de las gotas en el

ambiente), la convección (velocidad del viento), la velocidad inicial de emisión (tosar, estornudar, respirar o conversar)⁽²⁾ y al tipo de espacio (cerrado/abierto).^(5,9) Se ha visto que a medida que aumenta la difusividad atmosférica y la convección, aumenta el alcance de las gotas grandes (a más de 10 m) y pequeñas (a más de 1 000 m).⁽⁹⁾ Para individuos que conversan o respiran (velocidad baja de emisión \approx 1-5 m/s)^(2,11) las gotas expelidas acostumbran a ser pequeñas con alcance menor a 1 m,⁽²⁾ por lo que la distancia mínima recomendada (2 m) es suficiente para proteger.⁽¹⁰⁾ No obstante, estas gotas pueden llegar a formar varias nubes de aerosoles que, debido a la flotabilidad y luego de cierto tiempo, podrían penetrar más profundamente en las vías respiratorias.^(2,10,11) Para individuos que tosen (velocidad media de emisión \approx 4-10 m/s),^(10,12) las gotas pueden alcanzar hasta 3 m,⁽¹²⁾ por lo que la distancia recomendada (sin máscaras) no es suficiente. En aquellos que estornudan (velocidad alta de emisión \approx 20-50 m/s),^(2,10) las gotas grandes predominan y pueden alcanzar los 6 m.⁽²⁾ El número de gotas producidas en estornudos puede ser de 10 a 100 veces mayor que al toser y todavía más que al conversar o respirar. Las gotas pequeñas generadas al toser o estornudar pueden superar los 30 m, dispersándose más fácilmente.⁽⁹⁾ Si bien las gotas de aerosoles poseen gran alcance, se ha encontrado que, dentro de las que se consideran eficientes para depositar el coronavirus (1-100 μ m),⁽⁹⁾ aquellas con diámetro entre 30-50 μ m son las de mayor alcance.⁽²⁾

En espacios abiertos, la velocidad del viento disminuye la probabilidad de infección al diluir la nube de aerosol (bajar la cantidad de gotas por volumen), a pesar de incrementar su alcance. En espacios cerrados, debido a la recirculación del aire y al creciente número de emisiones, la probabilidad de infección puede llegar a ser mayor e, incluso, aumentar con el movimiento de las personas, máquinas y puertas.^(9,11)

Factores ambientales como la temperatura, la humedad, la iluminación y el material particulado pueden influir en el transporte por aerosol del coronavirus. Algunos estudios indican que la disminución de la temperatura ($<$ 24 °C) y de la humedad ($<$ 50 %) beneficiaría la transmisión,⁽²⁾ al aumentar el tiempo de permanencia del virus en el aire y favorecer la evaporación de las gotas.^(2,9,10) El grado de iluminación es importante para la transmisión del virus visto el carácter germicida de la luz ultravioleta solar o artificial. Algunos trabajos han encontrado que la iluminación solar durante varios minutos puede ser suficiente para inactivar al coronavirus en aire.^(13,14,15) El material particulado, al estar presente en aerosoles, puede favorecer la transmisión al servir de vehículo, protector de la luz solar y de alimento al coronavirus. Por lo tanto, ambientes con mucha polución benefician el contagio.^(16,17,18)

De acuerdo con la evidencia más actual, algunas medidas para mitigar la transmisión por aerosol son:

- Evitar espacios cerrados⁽⁵⁾ o mantenerlos suficientemente ventilados^(2,5,9,10) ($>$ 0,09 m³/s)⁽¹²⁾ y expuestos a la luz solar (10-14 min en zona tórrida a nivel del mar),⁽¹³⁾ así como reducir al mínimo el tiempo de contacto ($<$ 15 min)⁽²⁾ y la densidad de individuos presentes.⁽⁵⁾
- Reducir la formación de gotas de secreción nasal mediante soluciones salinas isotónicas o inhalantes que reduzcan la tensión superficial del moco.⁽¹⁰⁾
- Usar máscaras ya que disminuye la cantidad y alcance de las gotas, la velocidad de emisión, volumen de la nube de aerosol y el tiempo de

- caída.^(2,5,9,11,12,16) Dar preferencia a máscaras N95, sin válvulas de expiración porque podría ser una vía de escape del virus⁽²⁾. Máscaras quirúrgicas o de tela, aparentemente menos eficaces,^(2,9,11,12) serían útiles en espacios donde prime respirar o conversar.⁽⁹⁾ Es imprescindible garantizar un buen ajuste al contorno de la cara para evitar fugas periféricas que promuevan flujos o aerosoles secundarios.^(2,9,10) Tanto individuos infectados como en sanos deben usar máscaras ya que así se reduce hasta en 100 veces la tasa de virus depositada en el ambiente.⁽⁹⁾
- Usar purificadores de aires⁽⁹⁾ y/o máquinas de nebulización⁽¹⁰⁾ ayudaría en la desinfección de espacios cerrados. Extractores que hagan descender el aire, también son útiles.⁽¹¹⁾
 - Usar luz ultravioleta lejana (o germicida sin personas) en ambientes cerrados significaría un avance superlativo hacia un desconfinamiento seguro.⁽¹⁹⁾

Todas estas medidas resultan beneficiosas siempre que haya consciencia y disposición ciudadana para acatarlas y educación con vigilancia estatal para hacerlas cumplir.

Conclusiones

La COVID-19 puede transmitirse por aerosoles contaminados cuando estos son inhalados por un individuo sano. El coronavirus puede permanecer varias horas en aerosoles que pueden ser desplazados a distancias superiores a los 6 m. Los aerosoles se forman cuando la tasa de sedimentación de las partículas líquidas es menor que la de evaporación. Los factores ambientales que favorecen este tipo de transmisión son: baja humedad y temperatura, así como mucha polución y poca iluminación solar. Se recomienda el uso de máscaras N95 bien ajustadas al contorno facial, iluminación solar por más de 15 min, aumentar la humedad y la temperatura, así como el empleo de extractores que promuevan corrientes descendentes de aire. Educar y crear conciencia en la población es imprescindible en esta batalla.

Referencias bibliográficas

1. Gordon DE, Jang GM, Bouhaddou M, Xu J, Obernier K, White KM, et al. A SARS-CoV-2 protein interaction map reveals targets for drug repurposing. *Nature*. 2020 [acceso: 12/01/2021];583(7816):459-68. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2286-9>
2. Seminara G, Carli B, Forni G, Fuzzi S, Mazzino A, Rinaldo A. Biological fluid dynamics of airborne COVID-19 infection. *Rend Lincei Sci Fis e Nat*. 2020 [acceso: 12/01/2021];31(3):505-37. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s12210-020-00938-2>
3. Vuorinen V, Aarnio M, Alava M, Alopaeus V, Atanasova N, Auvinen M, et al. Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors. *Saf Sci*. 2020 [acceso: 12/01/2021];130:104866. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753520302630>
4. Liu Y, Ning Z, Chen Y, Guo M, Liu Y, Gali NK, et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*. 2020 [acceso:

- 12/01/2021];582(7813):557-60. Disponible en: <http://www.nature.com/articles/s41586-020-2271-3>
5. Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ Int.* 2020 [acceso: 12/01/2021];139:105730. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016041202031254X>
6. Haleem A, Javaid M, Vaishya R. Effects of COVID-19 pandemic in daily life. *Curr Med Res Pract.* 2020 [acceso: 12/01/2021];10(2):78-9. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352081720300386>
7. Wilches-Visbal JH, Castillo-Pedraza MC, Cohen-Rodriguez YL. Reflexiones sobre la educación presencial universitaria durante la cuarentena por COVID-19. *Duazary.* 2020 [acceso: 12/01/2021];17(4):7-10. Disponible en: <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/duazary/article/view/3594>
8. Salamanca JDG, Vargas G. Quarantine and Informality: Reflections on the Colombian Case. *Sp Cult.* 2020 [acceso: 12/01/2021];23(3):307-14. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1206331220938626>
9. Gorbunov B. Aerosol particles laden with COVID-19 travel over 30m distance. *Preprints* 2020 [acceso: 12/01/2021];1-18. Disponible en: <https://www.preprints.org/manuscript/202004.0546/v1>
10. Mittal R, Ni R, Seo J-H. The flow physics of COVID-19. *J Fluid Mech.* 2020 [acceso: 12/01/2021];894:F2. Disponible en: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0022112020003304/type/journal_article
11. Tellier R, Li Y, Cowling BJ, Tang JW. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary. *BMC Infect Dis.* 2019 [acceso: 12/01/2021];19(1):101. Disponible en: <https://bmcinfectdis.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12879-019-3707-y>
12. Agrawal A, Bhardwaj R. Reducing chances of COVID-19 infection by a cough cloud in a closed space. *Phys Fluids.* 2020 [acceso: 12/01/2021];32(10):101704. Disponible en: <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0029186>
13. Ratnesar-Shumate S, Williams G, Green B, Krause M, Holland B, Wood S, et al. Simulated Sunlight Rapidly Inactivates SARS-CoV-2 on Surfaces. *J Infect Dis.* 2020 [acceso: 12/01/2021];222(2):214-22. Disponible en: <https://academic.oup.com/jid/article/222/2/214/5841129>
14. Guasp M, Laredo C, Urra X. Higher solar irradiance is associated with a lower incidence of COVID-19. *Clin Infect Dis.* 2020 [acceso: 12/01/2021];ciaa(575):1-12. Disponible en: <https://academic.oup.com/cid/advance-article/doi/10.1093/cid/ciaa575/5840498>
15. Schuit M, Ratnesar-Shumate S, Yolitz J, Williams G, Weaver W, Green B, et al. Airborne SARS-CoV-2 Is Rapidly Inactivated by Simulated Sunlight. *J Infect Dis.* 2020 [acceso: 12/01/2021];222(4):564-71. Disponible en: <https://academic.oup.com/jid/article/222/4/564/5856149>
16. Setti L, Passarini F, De Gennaro G, Barbieri P, Perrone MG, Borelli M, et al. Airborne Transmission Route of COVID-19: Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could Not Be Enough. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 [acceso: 12/01/2021];17(8):2932. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/8/2932>
17. Tung NT, Cheng PC, Chi KH, Hsiao TC, Jones T, Bérubé K, et al. Particulate matter and SARS-CoV-2: A possible model of COVID-19 transmission. *Sci Total Environ.* 2021 [acceso: 12/01/2021];750:141532. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720350610>

18. Comunian S, Dongo D, Milani C, Palestini P. Air Pollution and COVID-19: The Role of Particulate Matter in the Spread and Increase of COVID-19's Morbidity and Mortality. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 [acceso: 12/01/2021];17(12):4487. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/12/4487>

19. Wilches Visbal JH, Castillo Pedraza MC, Serpa Romero XZ. Inactivación potencial del coronavirus SARS-CoV2: ¿qué agentes germicidas se proponen? *Rev Cuid*. 2020 [acceso: 12/01/2021];12(1):2-6. Disponible en: <https://revistacuidarte.udes.edu.co/index.php/cuidarte/article/view/1273>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Jorge Homero Wilches Visbal: Conceptualización, investigación y redacción.

Midian Clara Castillo Pedraza: Investigación y redacción.