

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/346572629>

Transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea (inhalación de aerosoles). Medidas de reducción de exposición

Preprint · November 2020

DOI: 10.13140/RG.2.2.24185.90728

CITATIONS

0

READS

139

7 authors, including:



Julian Gelman Constantin

Comisión Nacional de Energía Atómica

11 PUBLICATIONS 48 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Nahuel Montesinos

National Scientific and Technical Research Council

16 PUBLICATIONS 391 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Daniela Santágata

Comisión Nacional de Energía Atómica

4 PUBLICATIONS 13 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Natalia Quici

National Scientific and Technical Research Council

30 PUBLICATIONS 667 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Remediation of contaminated sites [View project](#)



Atmospheric Black Carbon distribution in Argentina: climate change and glacier melting [View project](#)

Transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea (inhalación de aerosoles).

Medidas de reducción de exposición.

Versión: 17/11/2020

Julián Gelman Constantin^{1,2,*}, Nahuel V. Montesinos^{2,3,#}, Daniela Santágata¹, Natalia Quici^{2,3}, Pablo Lichtig^{1,2}, Ramiro Espada¹, Cristina Rössler¹

¹ División Química Atmosférica, Gerencia de Química, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³ División Química de la Remediación Ambiental, Gerencia de Química, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

* juliangelman@cnea.gov.ar

montesinos@cnea.gov.ar

Contenido

Resumen Ejecutivo	3
Informe completo	8
1 Introducción	8
2 Transmisión por vía aérea y eventos de supercontagio.....	9
2.1 Eventos de supercontagio documentados	10
3 Distribución de tamaño de las partículas expulsadas por el tracto respiratorio humano	13
4 Detección del virus en aerosoles	16
4.1 Detección de material genético viral en muestras de aire.....	16
4.2 Detección de virus viable / infeccioso en aerosoles	18
5 Estabilidad del virus en aerosoles	19
6 Medidas de prevención	20
6.1 Control de fuentes. Barbijos. Ocupación.....	20
6.2 Distanciamiento	23
6.3 Ventilación	23
6.4 Filtración.....	26
6.5 Radiación UV-B o UV-C.....	27
6.6 Higiene de superficies.....	27
6.7 Estimación de riesgo. Modelos.....	28
Bibliografía	32
Apéndice. SARS-CoV-2 y material particulado atmosférico (PM) regional.....	38

Resumen Ejecutivo

Con menos de un año desde sus inicios, el COVID-19 ha provocado alteraciones sin precedentes en la vida cotidiana de una parte sustantiva de la población mundial. Del enorme caudal de estudios realizados en los últimos 8 meses por las diferentes disciplinas científicas para evaluar los impactos sociales, económicos y ambientales que tuvieron lugar como consecuencia de las medidas adoptadas, existe sobrada evidencia del vínculo entre la química atmosférica y la transmisión del virus SARS-CoV-2.

Con el propósito de contribuir a al diálogo interdisciplinario que enfrentan los tomadores de decisión en el marco de esta pandemia, se presenta aquí una revisión de las propiedades físico-químicas de los aerosoles y su estabilidad, los métodos para colectarlos y cuantificarlos, y las medidas para reducir la exposición a los mismos. Esperamos por lo tanto que estos aportes, puestos en diálogo con los saberes de profesionales con experiencia en medicina, virología, epidemiología, y otras ramas de la ciencia, puedan ser de relevancia para los destinatarios.

Las actividades respiratorias humanas generan la emisión de gotas con una amplia distribución de tamaños, partiendo desde dimensiones menores al micrómetro hasta de varios cientos de micrómetros. Se distinguen varios “modos” de emisión, relacionados con la implicación de varias regiones del aparato respiratorio humano. El tracto respiratorio inferior (bronquiolos) genera partículas en diámetros cercanos a 1,6 μm , la laringe otras en el rango de 2,5 μm , mientras que el tracto respiratorio superior (incluyendo la cavidad oral) genera partículas mucho mayores, con una distribución centrada en 145 μm .

Este rango de tamaños se modifica luego de la emisión. La deposición hace que las partículas más grandes ($> 100 \mu\text{m}$) puedan caer en segundos al suelo. Las más pequeñas, persisten más tiempo en el aire (desde unos segundos hasta varios minutos o incluso horas), y son las que se denominan aerosoles. Estas son más afectadas que las grandes por la evaporación de parte del agua que contienen, reduciendo su tamaño hasta un 50%, y por lo tanto aumentando la distancia que pueden recorrer antes de depositarse.

La importancia relativa de las distintas vías de transmisión del virus SARS-CoV-2 es de vital relevancia a la hora de discernir las medidas de prevención más importantes, especialmente para crear o modificar protocolos sanitarios durante etapas de flexibilización del Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio (ASPO) o en la transición al Distanciamiento Social, Preventivo y Obligatorio (DISPO). Podemos distinguir al menos tres vías relevantes de transmisión del virus:

- ***Por contacto cercano.*** El contacto cercano suele definirse como un contacto de más de 15 minutos con una persona infectada a distancias menores de 2 m, aunque veremos que esta definición puede ser incompleta. Esta vía, el virus puede ser vehiculizado por las gotas relativamente grandes ($> 100 \mu\text{m}$) que una persona infectada emite al toser o estornudar (y en menor medida en otras actividades respiratorias), que se mueven “balísticamente” e impactan en las mucosas (ojos, boca, orificios nasales) de otra persona. Pero también los aerosoles pueden ser muy relevantes en el contacto cercano.

- ***Por “vía aérea” o “por aerosoles”.*** Las gotas de menor tamaño ($< 100 \mu\text{m}$) emitidas al toser, estornudar, o incluso al cantar, hablar o respirar pueden durar más tiempo en el aire, y por tanto llegar a distancias mayores o acumularse en una habitación. Si una persona inhala un número suficiente de estas gotas, podría contagiarse.

- ***Por contacto con superficies contaminadas o por “fómites”.*** Las personas contagiadas pueden contaminar superficies a través de las gotas respiratorias mencionadas (y quizás a través de otras vías). Si una persona susceptible toca estas superficies y luego toca sus propias mucosas, podría contagiarse. Hay cierto grado de evidencia en su favor, pero hoy se piensa que su relevancia es secundaria.

Recientemente parte de la comunidad científica está resaltando la probable relevancia de la transmisión del virus SARS-CoV-2 por aerosoles y su implicancia en las medidas de prevención de la enfermedad COVID-19. Algunos argumentos o evidencias a favor de la relevancia de esta vía de transmisión son los que siguen:

- Explica de forma simple la observación de que hay mayor riesgo de contagio en espacios interiores, y el efecto de la ventilación en reducir los contagios.
- En particular, explica de forma simple los “eventos de supercontagio” documentados en espacios interiores mal ventilados. También puede explicar el valor elevado de R_0 (número de reproducción) en este tipo de eventos.
- Permite entender el contagio por individuos pre-sintomáticos o asintomáticos (que no tosen ni estornudan, pero igualmente emiten aerosoles al hablar, respirar, etc.).
- Puede explicar la importancia del contacto cercano (los aerosoles se hallan en mayor concentración a cortas distancias de la persona que los emite).
- Explican la importancia de gritar o cantar en los contagios (mayor producción de aerosoles).
- Hay virus similares sobre los que hay evidencia previa de transmisión por aerosoles (SARS-CoV-1, influenza, MERS). Fue demostrado con hurones y hámsters para el SARS-CoV-2.
- Se ha podido hallar al virus SARS-CoV-2 con capacidad infecciosa en aerosoles, en algunos casos a distancias de hasta 5 metros de los pacientes.
- Los aerosoles de tamaños moderados ($> 1 \mu\text{m}$) son filtrados eficientemente por los barbijos, lo que explica su utilidad para evitar contagios.

Los gobiernos de Japón, Alemania, Reino Unido, España y Estados Unidos, entre otros, han ido reconociendo, la relevancia de la transmisión por aerosoles y han enfatizado ciertas medidas de prevención, principalmente la ventilación de espacios interiores y el uso universal del barbijo. Si bien algunas medidas para reducir el contagio por aerosoles ya han sido recomendadas en Argentina (por ejemplo, el uso masivo de barbijo, y la conveniencia de realizar actividades sociales en espacios exteriores), otras igualmente simples no han recibido la misma atención. En la mayoría de los protocolos se enfatiza la higiene/sanitización, el uso de barbijo y un distanciamiento de 2 m, medidas que aún aplicadas de forma conjunta no siempre son suficientes (especialmente en espacios mal ventilados). Sin embargo, la ventilación de espacios interiores no es remarcada suficientemente, ni se explica en detalle cómo hacerla de forma efectiva.

Eventos de supercontagio

Estos eventos se caracterizan por un número alto de contagios a partir de pocos casos iniciales (alto valor de R_0). En algunas regiones se estima que el 8% de los contagiados podrían producir hasta el 60% de los contagios secundarios. Por lo tanto, comprender y prevenir los eventos de supercontagio podría ser crucial para detener el avance de la epidemia y avanzar hacia una “nueva normalidad”.

Casi todos los casos documentados suceden en ambientes interiores, con mala ventilación y/o con hacinamiento, en algunos casos con recirculación de aire, con una gran cantidad de contagios que no pueden ser explicados por contacto cercano o contacto con superficies contaminadas, y en algunos casos con evidencia de transmisión a largas distancias o de contagios por individuos asintomáticos o pre-sintomáticos. Todo esto indicaría que la vía de contagio más importante en estos eventos es la de la inhalación de aerosoles.

Si bien los eventos de supercontagio pueden estar afectados por variabilidades entre individuos (de susceptibilidad a la infección y/o de tasa de emisión de aerosoles con carga viral), la experiencia muestra que hay medidas de prevención recomendables para reducir el riesgo de dichos eventos. Se destaca la importancia de evitar eventos sociales masivos, y situaciones que incluyan actividades respiratorias intensas (hablar mucho o en voz alta, cantar, ejercicio físico). Una conclusión clave de varios eventos de supercontagio es que en situaciones donde los aerosoles pueden acumularse, una distancia de 2 metros no es suficiente para evitar los contagios. Por lo tanto, en todas las actividades

en espacios interiores se debe enfatizar reducir las fuentes de aerosoles (bajar la ocupación, utilizar barbijos), reducir el tiempo de exposición, y evitar la recirculación de aire interior (incrementando la ventilación).

Virus SARS-CoV-2 en aerosoles de distinto tamaño

Hay fuerte evidencia de la presencia de ARN del SARS-CoV-2 en muestras de aire. La carga viral hallada fue muy variada, dependiendo de las condiciones del ambiente (emisión de pacientes, ventilación, etc.) y del sistema de medición. En espacios interiores se pudo detectar el virus aún a distancias mayores de los 2 metros recomendados como medida de prevención, y en ocasiones se pudo hallar fuera de las habitaciones de los pacientes o incluso en zonas al aire libre cercanas a hospitales. Se pudo detectar también en algunos casos en hisopados de ductos de ventilación. Aun hay poca certeza respecto de la variación de la carga viral en los distintos tamaños de aerosoles; se ha demostrado su presencia en aerosoles submicrométricos, de tamaños entre 1 y 4 μm , y de tamaños mayores a 4 μm .

También hay cierto grado de evidencia de la viabilidad del virus en dichos aerosoles; una fracción importante del virus colectado mostró su capacidad infecciosa, aún en mediciones a 4,8 m de la persona infectada.

Asimismo, se ha comprobado en condiciones de laboratorio y en oscuridad que el virus se mantiene viable durante horas, reduciendo su concentración a la mitad en aproximadamente 1,1-1,2 horas. En cambio, en presencia de radiación solar, la concentración de virus viable en aire se reduce a la mitad en menos de 8 minutos. El efecto de la temperatura y humedad se conoce con menos certeza, pero indicaría que la viabilidad se reduce con altas temperaturas y con humedades intermedias (65%), pero aumenta a humedades mayores o menores (40% y 85%).

Estos estudios muestran que el virus puede sobrevivir en espacios interiores el tiempo suficiente como para que su acumulación en espacios mal ventilados presente un riesgo de contagio. Asimismo, confirma que los espacios al aire libre conllevan menores riesgos, no sólo por la mayor ventilación sino adicionalmente por el efecto de la radiación solar. El estudio del efecto de la temperatura y humedad no permite por ahora adelantar conclusiones respecto del control de estas variables en ambientes cerrados como medida de prevención, pero cabe destacar que puede competir con medidas de eficacia más comprobada, como la ventilación, el filtrado o la radiación UV.

Implicancias sobre medidas de prevención

La evidencia presentada hace necesaria la recomendación de medidas de prevención complementarias a las ya instaladas que permitan un control fino de la propagación y, por ende, una gestión más focalizada de la pandemia y sus restricciones al desempeño de las distintas actividades humanas.

Barbijos

El uso del barbijo/tapabocas es una medida sin dudas beneficiosa para la contención de aerosoles provenientes del habla, la respiración, el canto, etc. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con las gotas grandes, la proporción de aerosoles retenidos puede disminuir drásticamente debido a un mal ajuste con la cara, al uso indebido (por ejemplo, con la nariz hacia afuera) o a una mala selección de materiales de confección de los tapabocas. Debido a la posibilidad de acumulación de los aerosoles en el aire, una contención deficiente puede resultar más peligrosa que para las gotas (siempre que se mantenga la higiene de superficies y la distancia), alimentada por una falsa seguridad de los usuarios por el uso de dicho dispositivo.

Distancia social

El distanciamiento es otra de las medidas más extendidas para la prevención de transmisión del SARS-CoV-2. La distancia (de más de 2 m) es una buena medida de prevención para el caso de las

gotas, pero puede ser insuficiente para evitar el contagio por aerosoles en ambientes cerrados. En ambientes cerrados, si bien la distancia puede reducir el contagio por “contacto cercano”, no siempre es suficiente para evitar la inhalación de aerosoles, y hay que tener en cuenta diversas medidas que reduzcan la concentración de aerosoles (ocupación, uso de barbijo, ventilación, etc.) y reducir el tiempo de exposición. En actividades al aire libre se sabe que el riesgo de contagio por aerosoles es bajo debido a la dilución, pero se recomienda igualmente el uso de barbijo y distanciamiento para evitar las altas concentraciones de gotas y aerosoles que hay a cortas distancias.

Ventilación

Las recomendaciones generales involucran un aumento de la ventilación (incorporación de aire exterior, virtualmente libre de aerosoles respiratorios), la limitación de la recirculación del aire y el direccionamiento de flujos de aire que permitan el alejamiento de corrientes potencialmente cargadas de virus hacia zonas desocupadas. También es aconsejable no utilizar ventilación recirculante (como la de los aires acondicionados de las casas) ya que permiten una homogeneización de la composición del aire interno y, con ella, de la carga de virus por todo un recinto cerrado. Esta característica es importante cuando las condiciones meteorológicas y la calidad del aire externo hacen necesario el acondicionamiento del aire. La implementación del uso de barreras de vidrio (útiles para evitar el contacto con las gotas de mayor tamaño) debe ser estudiado cuidadosamente, ya que pueden interferir con la ventilación.

Filtración

Cuando no sea posible ventilar o mantener desocupados ambientes cerrados la filtración del aire puede resultar un paliativo conveniente. Existen filtros comerciales capaces de retener eficientemente las gotas micrométricas y sub-micrométricas que actúan como vectores del virus en los aerosoles como los filtros HEPA o MERV-13. Debido a su elevado costo de instalación y mantenimiento esta alternativa estará reservada para lugares en que la relación costo-beneficio lo justifique. Sin embargo, la eficiencia real de estos filtros depende de la implementación, tanto en lo referido al soporte físico, equipamiento de ventilación, mantenimiento, como al cuidado de quienes estén a cargo de su manipulación. Por ejemplo, en instalaciones de ventilación centralizada, este tipo de filtros generan una pérdida de carga que pone riesgo el suministro de aire de los espacios cerrados. También se ha demostrado que filtros portátiles o instalados en el techo de habitaciones hospitalarias y en conjunto con la ventilación pueden resultar muy efectivos para la contención de aerosoles. Cabe destacar que en circunstancias donde los filtros HEPA (de mayor eficiencia) no puedan ser utilizados, un filtro de menor retención (MERV-13, MERV-11) igualmente puede aportar una reducción del riesgo, siempre en combinación con otras medidas.

Radiación UV-B o UV-C

Es posible una inactivación efectiva del virus SARS-CoV-2 por medio de irradiación con luz UV-B o UV-C. Esta medida es ampliamente recomendada para superficies, sobre todo aquellas en que la limpieza manual pueda resultar complicada como ductos de aire. Se ha conseguido una eficiente inactivación (>90%) en aerosoles con tiempos de irradiación menores a 1h.

Estimación del riesgo mediante modelos de distribución de partículas en ambientes cerrados

Los modelos de riesgo de contagio son una herramienta potente y versátil, debido a que permiten analizar el impacto de cada una de las medidas de prevención mencionadas en este informe adaptadas a diferentes escenarios de concentración, ventilación, número de contagiados (o prevalencia poblacional de la enfermedad), tiempo de residencia de los mismos, etc. Cabe destacar que, si bien la física de los modelos de dispersión de aerosoles es bien conocida, existe una serie de parámetros relacionados con la enfermedad COVID-19 sobre los que hay un grado de incertidumbre (por ejemplo, la tasa de emisión de aerosoles con virus, la carga viral en función del tamaño del aerosol, la curva de dosis-respuesta, entre otros) que limitan la precisión de los

resultados del modelado. De todos modos, el modelado, aunque no llegue a describir a todos los escenarios en su complejidad, puede dar una idea de los riesgos relativos de distintas situaciones, que permita desarrollar protocolos o cambios estructurales eficientes en distintos tipos de ambientes cerrados de ocupación masiva, como por ejemplo los vehículos de transporte de pasajeros de corta, mediana y larga distancia que no cuenten con ventilación, o durante época invernal.

Tipo y nivel de actividad del grupo	Pocas personas			Muchas personas		
	Exterior y bien ventilado	Interior y bien ventilado	Poco ventilado	Exterior y bien ventilado	Interior y bien ventilado	Poco ventilado
CON barbijos, contacto durante poco tiempo						
En silencio	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
Hablado	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
Gritando, cantando	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo
CON barbijos, contacto durante tiempo prolongado						
En silencio	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo	Rojo
Hablado	Verde	* Verde	Amarillo	* Verde	Amarillo	Rojo
Gritando, cantando	Verde	Amarillo	Rojo	Amarillo	Rojo	Rojo
SIN barbijos, contacto durante poco tiempo						
En silencio	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo
Hablado	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo
Gritando, cantando	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
SIN barbijos, contacto durante tiempo prolongado						
En silencio	Verde	Amarillo	Rojo	Amarillo	Rojo	Rojo
Hablado	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Gritando, cantando	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo

Riesgo de transmisión
 Bajo Verde Medio Amarillo Alto Rojo * Caso límite, dependiendo de factores como la distancia, número de individuos y tiempo de exposición

Figura 1. Riesgos relativos de distintas actividades ante la transmisión del SARS-CoV-2 por inhalación de aerosoles. Se asume que en todos los casos se mantiene una distancia de 2 m. Adaptada de [1].

Conclusiones

Se destaca la necesidad del trabajo interdisciplinario de especialistas en virología, medicina, epidemiología, química atmosférica, remediación ambiental, ventilación, entre otras, dada la complejidad de la problemática. Las medidas de prevención mencionadas aquí pueden y deben utilizarse de forma complementaria entre sí y en conjunto con las destinadas a evitar el contagio a través de fómites y gotas, de forma que la combinación de medidas, y no su mera suma, permita obtener soluciones eficientes para los distintos escenarios de propagación. Si bien algunas de las medidas mencionadas ya han adquirido conocimiento público o son de conocimiento de las autoridades, los autores de este trabajo entendemos que esta nueva etapa de la pandemia exige nuevas medidas de prevención a la vista de la relevancia de la vía de contagio por aerosoles. Dichas medidas deben ser comunicadas claramente en los protocolos de actividades laborales o recreativas, así como al público en general, para generar en la población una conciencia del riesgo que implican las distintas situaciones. En este mismo trabajo se desarrollan en más detalle los puntos mencionados, y se citan guías desarrolladas por asociaciones profesionales, organismos de salud y grupos de especialistas en aerosoles de diferentes partes del mundo que pueden ser un buen punto de partida.

Informe completo

1 Introducción

El conocimiento de la relevancia de las distintas vías de transmisión del virus SARS-CoV-2 es vital a la hora de discernir las medidas de prevención más importantes, especialmente para crear o modificar protocolos sanitarios durante etapas de flexibilización del Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio (ASPO) o Distanciamiento Social, Preventivo y Obligatorio (DISPO). Podemos distinguir al menos tres vías relevantes de transmisión del virus:

- **Por contacto cercano.** El contacto cercano suele definirse como un contacto de más de 15 minutos con una persona infectada a distancias menores de 2 m. Este podría darse por vía de gotas respiratorias de distintos tamaños.

- **Por “vía aérea” o “por aerosoles”.** Algunas de las gotas emitidas al toser, estornudar, o incluso al cantar, hablar o respirar son de un tamaño que permite que duren más tiempo en el aire, y por lo tanto llegar a distancias mayores o acumularse en una habitación. Si una persona inhala un número suficiente de estas gotas, podría contagiarse. La OMS reconoce esta vía como posible, pero por el momento no le asigna importancia [2].

- **Por contacto con superficies contaminadas o por “fómites”.** Las personas contagiadas pueden contaminar superficies a través de las gotas respiratorias mencionadas (y quizás a través de otras vías). Si una persona susceptible toca estas superficies y luego toca sus propias mucosas, podría contagiarse. La OMS reconoce desde el comienzo esta vía de transmisión y hay cierto grado de evidencia en su favor. Hoy se piensa que su relevancia es secundaria [3], [4].

Inicialmente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y diversos organismos nacionales de salud asumieron que los contagios eran mayormente por contacto cercano, por vía de gotas relativamente grandes que una persona infectada emite al toser o estornudar, que se mueven “balísticamente”, y luego impactan en las mucosas (ojos, boca, orificios nasales) de otra persona. Indicaron también que estas gotas caían al suelo rápidamente (distancia de 1,5 m).

Recientemente parte de la comunidad científica está resaltando la probable relevancia de la transmisión del virus SARS-CoV-2 por aerosoles (suspensiones aéreas de gotas de diámetros menores a 100 μm) y su implicancia en las medidas de prevención de la enfermedad COVID-19 [5]–[9]. Podemos resumir a continuación algunos argumentos o evidencias a favor de la relevancia de esta vía de transmisión, algunas de las cuales describiremos en más detalle en las secciones que siguen:

- Explica de forma simple la observación del mayor riesgo de contagio en espacios interiores, y el efecto de la ventilación en reducir los contagios.
- En particular, explica de forma simple los “eventos de supercontagio” documentados en espacios interiores mal ventilados. También puede explicar el valor elevado de R_0 en este tipo de eventos.
- Permite entender el contagio por individuos pre-sintomáticos o asintomáticos (que no tosen ni estornudan, pero igualmente emiten aerosoles al hablar, respirar, etc.).
- Puede explicar la importancia del contacto cercano (los aerosoles se hallan en mayor concentración a cortas distancias del paciente).
- Explican la importancia de gritar o cantar en los contagios (mayor producción de aerosoles).
- Hay virus similares sobre los que ha evidencia previa de transmisión por aerosoles (SARS-CoV-1, influenza, MERS). Fue demostrado con hurones y hámsters para el SARS-CoV-2.
- Se ha podido hallar virus con capacidad infecciosa en aerosoles, en algunos casos a distancias de hasta 5 metros de los pacientes.
- Los aerosoles de tamaños moderados ($> 1 \mu\text{m}$) son filtrados eficientemente por los barbijos, lo que explica su utilidad para evitar contagios.

Las medidas de prevención tomadas nos muestran la relevancia que se le dio a esta vía de contagio. La Oficina del Primer Ministro de Japón y el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar Social reconocieron tempranamente (mayo de 2020) tres situaciones que podrían aumentar el riesgo de casos de COVID-19 y aconsejaron a la población evitar: espacios cerrados con mala ventilación, lugares concurridos y situaciones de contacto cercano [10]. La recomendación respecto de la ventilación sólo tiene sentido asumiendo que los aerosoles son un factor relevante, ya que las gotas más grandes caen al piso y no son afectadas por la ventilación. Más recientemente Alemania ha reconocido la probable relevancia de la transmisión por aerosoles y ha enfatizado ciertas medidas de prevención, principalmente la ventilación de espacios interiores [11]. Lo mismo ha sucedido en el Reino Unido [12] y España [13] recientemente. En Estados Unidos, el CDC (Centers for Disease Control and Prevention) ha cambiado sus recomendaciones indicando la posibilidad de transmisión por vía aérea, aunque no deja claro si la considera una vía importante [3]. Adicionalmente, si se asume que los aerosoles son una vía relevante de transmisión, algunas medidas que ya se estaban tomando deben ser adaptadas para asegurar su eficacia. Por ejemplo, el uso del barbijo para frenar las gotas “balísticas” que se emiten al toser o estornudar tiene una gran eficiencia. Pero para filtrar los aerosoles es necesario un buen ajuste a la cara, y aún así pueden dejar pasar parte de los mismos, requiriendo el uso de otras medidas adicionales para reducir el riesgo (ver Sección 6.1). Las distancias de seguridad y los tiempos máximos de exposición también deben ser evaluados con detalle (Secciones 6.2 y 6.7).

Si bien algunas medidas para reducir el contagio por aerosoles ya han sido recomendadas en Argentina (por ejemplo, el uso masivo de barbijo, y la conveniencia de realizar actividades sociales en espacios exteriores), otras igualmente simples no han recibido la misma atención. En la mayoría de los protocolos se enfatiza la higiene/sanitización, el uso de barbijo y un distanciamiento de 2 m, medidas que aún aplicadas de forma conjunta no siempre son suficientes (especialmente en espacios mal ventilados). Sin embargo, la ventilación de espacios interiores no es remarcada suficientemente, ni se explica en detalle cómo hacerla de forma efectiva [14]–[17].

Se podría pensar que los casos comprobados de transmisión por aerosoles (en espacios interiores mal ventilados) son eventos raros y por lo tanto poco relevantes. Sin embargo, los eventos de “supercontagio” tienen altísimas tasas de contagio, y se ha afirmado que son determinantes en el ritmo de avance de la epidemia; en algunas regiones se estima que el 20% de los contagiados podrían producir hasta el 80% de los contagios secundarios (Sección 2). Por lo tanto, comprender y prevenir los eventos de supercontagio podría ser crucial para detener el avance de la epidemia y avanzar hacia una “nueva normalidad” [18].

Presentamos a continuación un análisis de bibliografía reciente (mayormente del año en curso) respecto de la importancia de los eventos de supercontagio del SARS-CoV-2 y su relación con la transmisión por aerosoles (Sección 2), el tamaño de las partículas respiratorias emitidas por el humano y su estabilidad física (Sección 3), el contenido de material genético viral de SARS-CoV-2 en aerosoles (Sección 4.1) y su capacidad infecciosa (Sección 4.2), la estabilidad biológica de dichas partículas infecciosas (Sección 5), y finalmente las consecuencias para las medidas de prevención de contagios (Sección 6).

2 Transmisión por vía aérea y eventos de supercontagio

Más allá de la evidencia de transmisión por vía aérea en modelos animales como hurones [19] y hámsteres [20], uno de los elementos que se consideran más concluyentes para afirmar la relevancia de la transmisión por aerosoles son los llamados brotes o “eventos de supercontagio” (*superspreading events*). Estos eventos se definen como situaciones donde se produce un número alto de contagios a partir de un solo caso inicial, o unos pocos (lo que se expresa como un alto valor de R_0 en la jerga epidemiológica). En muchos de los casos documentados, se repiten varias características que hacen sospechar fuertemente que la vía de contagio más importante sea la de la inhalación de aerosoles. Casi todos los casos documentados suceden en ambientes interiores, con mala ventilación y/o con hacinamiento, en algunos casos con recirculación de aire, con una gran

cantidad de contagios que no pueden ser explicados por contacto cercano o contacto con superficies contaminadas, y en algunos casos con evidencia de transmisión a largas distancias.

Estos eventos se consideran una función de variaciones individuales en la transmisibilidad del virus, y variaciones individuales en la susceptibilidad y exposición [21]. Es decir, son afectados por un lado por la tasa de emisión del virus por distintos individuos, las diferencias en el sistema inmune de las personas susceptibles, pero también por conductas sociales que pueden facilitar el contagio.

Los eventos de supercontagio plantean desafíos considerables para el control local, ya que pueden sobrepasar rápidamente la capacidad de rastreo de contactos de salud pública, y porque la mayoría de las personas infectadas generarán pocas infecciones secundarias, mientras que una pequeña fracción puede generar mucha. Por ejemplo, se estima que aproximadamente el 19% de los casos fueron responsables del 80% de todas las transmisiones del SARS-CoV-2 en Hong Kong (sobre 1039 contagios confirmados del 23 de enero al 28 de abril de 2020), mientras que el 69% de los casos no contagiaron a nadie más [21]. Hay que destacar que estos resultados se dieron en el contexto de las medidas de distanciamiento físico que se practicaban en el momento en Hong Kong, incluyendo el cierre de escuelas, algunos adultos trabajando desde su hogar, la cancelación de reuniones masivas, así como la mejora de la higiene y el uso universal de máscaras/barbijos. Los lugares de reunión social como bares y restaurantes produjeron un mayor número de casos secundarios en comparación con las reuniones familiares o situaciones laborales. Por lo tanto, dichas actividades sociales probablemente constituyan el factor de riesgo conductual básico para los eventos de supercontagio. Un estudio similar en dos estados de India mostró que el 8% de los pacientes cuyos contactos fueron rastreados y testeados generó el 60% de las nuevas infecciones, mientras que el 71% no produjo ningún contagio [22].

Un estudio de 61 núcleos de contagio comunitarios en Japón observó que muchos de los grupos de infectados COVID-19 estaban asociados con la respiración fuerte entre personas próximas, como cantar en fiestas de karaoke, animar en clubes, tener conversaciones en bares y hacer ejercicio en gimnasios [10]. Se detectó que el 41% de los 22 casos primarios identificados fehacientemente correspondían a pacientes asintomáticos o pre-sintomáticos al momento de la transmisión.

Se presenta a continuación una serie de casos de estudio documentados en bibliografía científica que muestran la probable importancia de la transmisión por aerosoles para el SARS-CoV-2 y las conductas sociales que aumentan el riesgo de emergencia de estos brotes.

2.1 Eventos de supercontagio documentados

Brote en Centro de Atención Telefónica de Corea del Sur

El brote sucedió en un edificio de 19 pisos en una de las zonas más ocupadas de Seul [23]. Se trata de un edificio en donde desde el primer piso hasta el piso 11 funcionaban oficinas y desde el 13 al 19, viviendas. El Centro de atención telefónica funcionaba en los pisos 7 a 9 y 11, con un total de 811 empleados. De las 1145 personas bajo investigación (ocupantes de la totalidad del edificio más 20 visitantes) se testearon 1143, confirmándose 97 casos. De la totalidad de casos confirmados, 94 trabajaban en el piso 11, donde el total de trabajadores ascendía a 216. Además, la mayoría de los pacientes trabajaban del mismo lado del edificio.

Si evaluamos los números totales, el porcentaje de personas con test de COVID-19 positivo es 8.5% (97 confirmados sobre 1143 personas). Sin embargo, si se tiene en cuenta sólo el piso 11, de 216 empleados resultaron positivos 93 personas con COVID-19, lo que en este caso representa un 43.5%. Los datos del brote muestran que la enfermedad puede ser muy contagiosa en entornos de oficina con muy alta densidad de empleados, y puede convertirse en un sitio de alto riesgo para la propagación de COVID-19 y potencialmente en una fuente de transmisión adicional. Por otro lado, la tasa de contagio secundario en el hogar para los pacientes sintomáticos fue bastante más baja, del 16,2% (IC del 95%: 11,6% - 22,0%). Esto último da indicios de nuevo de la relevancia de las condiciones del edificio (hacinamiento, ventilación) en que se transmite la enfermedad.

Ensayo del Coro de Skagit Valley Chorale

Este es uno de los eventos mejor documentados, que se usa de referencia en varios artículos de modelado para establecer la tasa de emisión del virus SARS-CoV-2 (Sección 6.6). El evento se identificó con el ensayo del día 10 de marzo de 2020, en el que se presentaron 61 de los 122 integrantes del coro [24]. Uno de ellos, quien presentaba síntomas compatibles con un resfrío, se supo luego que era COVID-19 positivo.

El salón utilizado para el ensayo se calentó con un calefactor comercial de aire forzado relativamente nuevo. Además, había 3 aires acondicionados situados a 2,4 m sobre el suelo. Según los informes, alguien en la oficina principal encendió el sistema de calefacción antes del ensayo para calentar el espacio y el termostato se fijó a 20 °C (68 °F). La temperatura exterior era de unos 7 °C (45 °F), por lo que la calefacción estaba encendida al comienzo del ensayo, pero con tanta gente en la sala no era necesario mantenerla encendida para alcanzar una temperatura agradable. Durante todo el ensayo no se abrieron puertas exteriores. No se sabe si el ventilador del calefactor de aire forzado funcionaba bajo control termostático o si lo hacía de forma continua.

Algunos miembros comenzaron a experimentar la enfermedad del 11 al 15 de marzo. El momento de estas posibles infecciones secundarias es consistente con lo que se conoce sobre la dinámica temporal de la diseminación del virus. Entre los 61 asistentes al ensayo, 53 casos en total se identificaron posteriormente, incluido el caso índice, con 33 confirmados mediante pruebas positivas de COVID-19 y 20 casos no confirmados pero probables según los síntomas y el momento. Teniendo en cuenta el supuesto caso índice, la tasa de ataque de infección secundaria está, por lo tanto, en el rango de 32/60 a 52/60, o 53-87%.

Durante el ensayo coral del 10 de marzo, debido a la preocupación emergente por el SARS-CoV-2, se tomaron precauciones incluyendo el uso de sanitizante de manos y se evitó el estrechamiento de manos y los abrazos. El riesgo de transmisión generalizada debido al contacto cercano parecería ser bajo en este evento, considerando además que se cree que solo hubo un caso índice que se habría sentado cerca de sólo una pequeña proporción de los otros miembros del coro. Si la transmisión por contacto cercano y/o fómites fueran de hecho los modos de transmisión dominantes, entonces la tasa de ataque secundario debería haber sido mucho menor que el rango observado de 53-87%. También se esperaría ver los casos secundarios predominantemente entre los que están más cerca del caso índice en lugar de distribuirse ampliamente por toda la sala. Dadas las circunstancias del ensayo, una tasa de ataque secundaria tan alta por la ruta de contacto cercano habría necesitado una transmisión efectiva basada en gran parte en breves encuentros próximos. Esa interpretación de la alta tasa de ataque en este evento parece mucho menos probable que la explicación alternativa, es decir, que la inhalación de aerosoles respiratorios infecciosos del "aire compartido" fue el modo principal de transmisión.

Brote de COVID-19 entre asistentes a una boda en Jordania

El 13 de marzo de 2020, se llevó a cabo una ceremonia de boda y una fiesta de 2 horas en un lugar cerrado diseñado para acomodar a 400 invitados [25]. Se estima que el número de asistentes fue cercano a 360 según las conversaciones con el departamento de salud local, de los que se pudo identificar a 350. El estudio incluyó a personas que asistieron a la boda o tuvieron contacto cercano con los asistentes y dieron positivo para el SARS-CoV-2. Se recopilaron los datos mediante el uso de registros médicos electrónicos y llamadas telefónicas directas con casos confirmados o sus tutores legales. Se realizaron hisopados nasofaríngeos para PCR de transcripción inversa (RT-PCR) en muestras de 350 posibles casos dentro de las 4 semanas posteriores a la exposición en la boda, independientemente de la presencia o ausencia de síntomas.

Se cree que el paciente testigo fue el padre de la novia, que llegó a Jordania desde España 4 días antes de la boda, donde se estaba produciendo la transmisión local de la enfermedad.

Cuatro semanas después de la boda, además del caso del paciente testigo, 85 personas con antecedentes de exposición relacionados con la boda dieron positivo por SARS-CoV-2. De ellos, 76

(89,4%) asistieron a la boda, mientras que 9 (10,6%) no lo hicieron, pero fueron contactos cercanos de casos confirmados de la boda.

El estudio destaca el enorme riesgo de infección por SARS-CoV-2 durante reuniones sociales masivas y el papel que pueden desempeñar tales reuniones en la propagación del mismo. Proporciona además evidencia de transmisión asintomática del SARS-CoV-2 entre contactos secundarios. Los autores sugieren desalentar las grandes reuniones, identificar y testear los contactos sociales y aislar los casos confirmados para ayudar a controlar la pandemia mundial de COVID-19.

Brote entre los usuarios de autobuses en el este de China

El estudio de cohorte examinó un brote comunitario de COVID-19 en la provincia de Zhejiang [26]. El 19 de enero de 2020, 128 personas tomaron 2 autobuses (60 del autobús 1 y 68 del autobús 2) en un viaje de ida y vuelta de 100 minutos para asistir a un evento religioso de 150 minutos. El paciente de origen era un pasajero del autobús 2. Se compararon los riesgos de infección por SARS-CoV-2 entre las personas en riesgo que tomaban el autobús 1 ($n = 60$) y el autobús 2 ($n = 67$, excluyendo al paciente de origen) y entre todas las demás personas ($n = 172$) que asistieron al acto religioso. Se dividieron los asientos en el autobús expuesto en zonas de alto y bajo riesgo de acuerdo con la distancia al paciente fuente y se compararon los riesgos de COVID-19 en cada zona.

Durante el brote, el paciente índice fue la única persona expuesta a individuos de Wuhan y el primero en el evento en recibir un diagnóstico de COVID-19, lo que sugiere una alta probabilidad de que fuera la fuente del brote. El autobús no expuesto, que salió y llegó al templo en momentos similares con personas similares, proporcionó un grupo de control creíble. Ambos buses contaban con un sistema de aire acondicionado en modo recirculante, lo que pudo haber facilitado la propagación del virus en el bus expuesto. Las tasas de ataque en los autobuses expuestos y no expuestos fueron distintas (34,3% frente a 0%), lo que sugiere que la exposición y el entorno en el que tuvo lugar la exposición contribuyeron a este brote. Además, los pasajeros sentados más cerca del paciente índice en el autobús expuesto no tenían estadísticamente mayores riesgos de COVID-19 que aquellos que se sientan más lejos. Si la transmisión de COVID-19 ocurrió únicamente a través del contacto cercano durante este brote, el riesgo de COVID-19 probablemente estaría asociado con la distancia del paciente índice, y las zonas de alto riesgo en el autobús tendrían más casos infectados. El paciente índice en el autobús 2 desarrolló síntomas la noche después de regresar del templo y era pre-sintomático durante los viajes en autobús, lo que sugiere que las personas con infección pueden eliminar el virus al respirar y causar casos secundarios antes de que se vuelvan sintomáticos. Una porción significativa de los casos confirmados del evento de adoración se convirtió en fuentes de infección en su hogar o comunidad y la transmisión se extendió más allá de la segunda generación.

La investigación sugiere que, en ambientes cerrados con recirculación de aire, el SARS-CoV-2 es un patógeno altamente transmisible. Se ha especulado que una de las razones de los brotes en plantas de carne [27] también es la recirculación del aire, que además se mantiene a baja temperatura (lo cual podría aumentar el tiempo que el virus se mantiene viable en los aerosoles, ver Sección 5).

Brote asociado al uso de aire acondicionado en restaurant de Guangzhou, China

Desde el 26 de enero hasta el 10 de febrero de 2020, un brote de la enfermedad COVID-19 afectó a 10 personas de 3 familias que habían comido en el mismo restaurante con aire acondicionado en Guangzhou, China [28]. Una de las familias acababa de viajar desde Wuhan, provincia de Hubei, China.

Se trata de un restaurante de 5 pisos con aire acondicionado y sin ventanas. El comedor del tercer piso ocupa 145 m² y cada piso tiene su propio aire acondicionado. Las familias A y B se sentaron cada una durante un período de superposición de 53 minutos y las familias A y C durante un período

de superposición de 73 minutos. La salida y la entrada de aire de retorno del acondicionador se ubicaron encima de la mesa C.

El paciente A1 (caso índice) era pre-sintomático al momento del evento en el restaurante. Las distancias entre el paciente A1 y las personas de otras mesas eran todas mayores a 1 m, especialmente las de la mesa C, con distancias de hasta 3 m aproximadamente. Se especula que el fuerte flujo de aire del acondicionador podría haber propagado gotas o aerosoles desde la mesa C a la mesa A, luego a la mesa B y luego de regreso a la mesa C.

Ninguno de los miembros del personal u otros comensales del restaurante resultó infectado en este evento. Además, las muestras de hisopado del acondicionador de aire fueron todas negativas para nucleótidos. Este hallazgo es menos consistente con la transmisión por aerosoles. Pero el hecho de que el caso índice fuera asintomático al momento del evento sí hace sospechar de transmisión por aerosoles. Como veremos en las secciones siguientes en este informe, en el caso de un paciente asintomático emite menor cantidad de gotas grandes, y no se espera que éstas lleguen mucho más allá de 1-2 m, mientras que los aerosoles sí pueden permanecer en el aire más tiempo y llegar por ello a mayores distancias. Por otro lado, a mayores distancias los aerosoles se diluyen, y esas concentraciones más bajas de aerosoles podrían haber sido insuficientes para causar una infección en otras partes del restaurante.

3 Distribución de tamaño de las partículas expulsadas por el tracto respiratorio humano

Las actividades como hablar, respirar, toser, estornudar, reírse, etc., resultan en la generación y expulsión de gotículas de distintos tamaños, generadas por el pasaje de una corriente de aire a velocidad suficientemente alta sobre la superficie de líquidos. Si bien estudios de la primera mitad del siglo 20 estimaban el diámetro de estas como mayor de algunos micrómetros, estudios posteriores han demostrado que la mayor cantidad de estas partículas son del rango submicrométrico [29]. El tipo y la concentración de tales gotas depende de la actividad que se esté realizando, no siempre de forma intuitiva. Por ejemplo, si bien en general toser genera más gotas que respirar, en algunas personas la respiración por la boca puede generar concentraciones mayores a la tos. A su vez, la evaporación de parte de las gotículas puede generar su reducción en tamaño. El aire expulsado por la nariz y la boca difiere, a su vez, en temperatura y humedad relativa, lo que puede afectar a los tamaños y características del aerosol emitido (por ejemplo, la distribución de tamaño del aerosol higroscópico depende de la humedad relativa).

Morawska y colaboradores [30] estudiaron el número de partículas emitidas con diámetro entre 0.3 y 20 μm . Concluye que la concentración numérica de partículas es máxima en al hablar con un sonido sostenido (ej: vocalizar o susurrar 'ahh' durante 10 s) y toser, y es mínima al respirar normalmente. En todas las actividades el mayor número de partículas son submicrométricas (Fig. 3). Propone un ajuste de 4 modos (A, B, C y D), ligados al tamaño de las partículas, en orden creciente de tamaño (tamaño aproximado, $\leq 0,8 \mu\text{m}$; $1,8 \mu\text{m}$; $3,5 \mu\text{m}$; $5,5 \mu\text{m}$ respectivamente). El modo A está presente en todas las actividades, y es claramente el principal en los modos vocalizados y al susurrar. Este modo es también fuertemente dependiente de la humedad relativa. Los modos B-D son de gran relevancia en las actividades vocalizadas. El modo B, además, es de gran actividad al toser (C y D, si bien también están activos, lo están menos). La distribución se resume en la Tabla 3.1.

Al hacer en cambio un estudio con diámetros de partículas mayores [31], concluyen que la concentración numérica de partículas puede estudiarse mediante un ajuste de 3 modos (llamados B, L y O, en orden creciente de diámetro medio) para las actividades de hablar y toser, como se muestra en la Tabla 3.2 y la Figura 3.1. Esos modos están asociados a tres procesos de producción de aerosoles: el primero (B) se produce en el tracto respiratorio inferior (bronquiolos), el segundo (L) en la región de la laringe, y el tercero (O) en el tracto respiratorio superior, incluyendo la cavidad oral. Esta distinción es relevante dado que la carga viral no tiene por qué ser homogénea en los fluidos de las distintas regiones del tracto respiratorio.

Notar que si bien hay mayor cantidad de partículas más pequeñas (modos B y L), hay mayor volumen de partículas más grandes (modo O), por la dependencia del volumen de la gota con el radio. Por otro lado, como veremos en la Sección 4, no necesariamente la cantidad de partículas virales (viriones) por unidad de volumen es la misma para todos los tamaños de partícula.

Tabla 3.1. Distribución de tamaños de partículas al exhalar, adaptada de [30]. Las concentraciones se expresan en número de partículas/cm³ de aire expirado. Se encuentran resultados similares [31].

Actividad	A (0,80 μm)	B (1,8 μm)	C (3,5 μm)	D (5,5 μm)
Contar en voz alta	0,236	0,068	0,007	0,011
Contar susurrando	0,110	0,014	0,004	0,002
Vocalizar sonido continuo	0,751	0,139	0,139	0,059
Susurrar sonido continuo	0,636	0,037	0,000	0,000
Respirar por la nariz y boca	0,084	0,009	0,003	0,002
Toser	0,567	0,093	0,012	0,006

Tabla 3.2. Concentración numérica (Cn) de cada modo. Adaptada de [31].

Actividad	Modo B	Modo L	Modo O	Suma (B+O+L)
Hablar				
Diámetro (μm)	1,6	2,5	145	
Cn (cm-3)	0,069	0,085	0,001	0,16
Toser				
Diámetro (μm)	1,6	1,7	123	
Cn (cm-3)	0,087	0,12	0,016	0,22

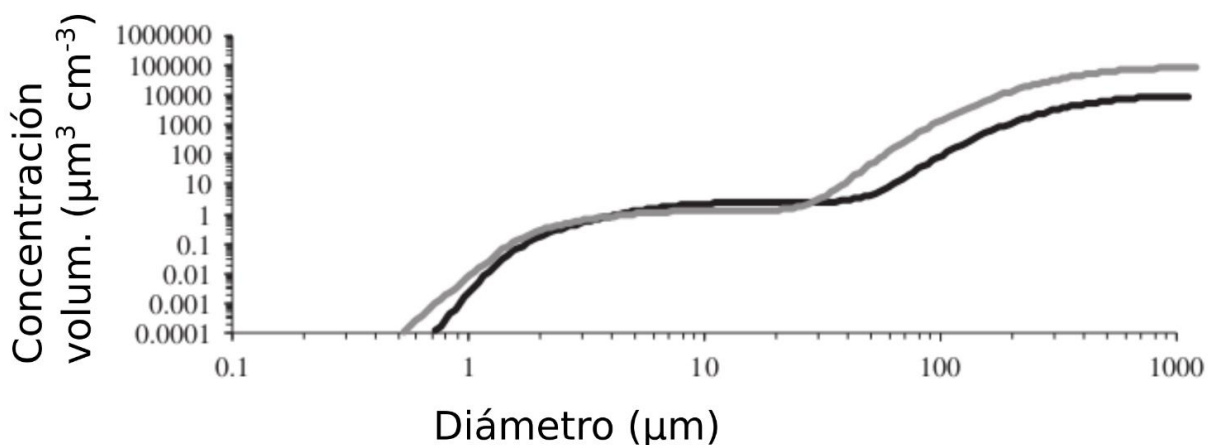


Figura 3.1. Distribución de tamaños de partículas emitidas al hablar (curva negra) o toser (curva gris), adaptada de [31]. Notar que el eje de ordenadas expresa volumen acumulado de gotas emitidas por unidad de volumen de aire expirado, a diferencia de las Tablas 3.1 y 3.2, expresadas en cantidad de gotas de un determinado tamaño por unidad de volumen de aire expirado.

La OMS por el momento sigue identificando que el mayor riesgo de contagio proviene de gotas que caen al piso a distancias menores de 1 m de la persona infectada [2]. Sin embargo, existe evidencia experimental de que la proyección horizontal de gotas respiratorias de diámetros menores a 60 μm

pueden alcanzar distancias de más de 2 m. Incluso se ha visto que para el caso de estornudos y tos las partículas pueden encontrarse a 6-8 m de la fuente [1]. Si consideramos los tamaños de partículas emitidas en actividades respiratorias que mencionamos más arriba en esta sección, puede verse que buena parte de ellas tienen un rango de tamaño que se suele considerar como “aerosoles” en el contexto de la química atmosférica. Esto quiere decir que dichas partículas pueden permanecer suspendidas durante tiempos largos en el aire (y por lo tanto recorrer largas distancias). Por ejemplo, se puede hacer un simple cálculo basado en la ecuación de Stokes para estimar la velocidad límite de caída de dichas partículas en ausencia de corrientes de aire

$$v_{lim} = \frac{Cg(\rho - \rho_f)d^2}{18\mu}$$

donde d es el diámetro de la esfera, y tomamos la densidad del agua como $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, la densidad del aire como $\rho_f = 1 \text{ kg/m}^3$, la viscosidad del aire como $\mu = 1,81 \cdot 10^{-5}$, la aceleración de la gravedad como $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, y un coeficiente de forma para una esfera de $C = 0,5$. Esta estimación lleva a los resultados expresados en la Tabla 3.3, que muestran claramente que estas partículas podrían recorrer largas distancias e incluso acumularse en espacios interiores mal ventilados. Para el caso de partículas de diámetro menor a $5 \mu\text{m}$ hay suficiente evidencia de que pueden ser transportadas más de 10 metros en condiciones típicas de velocidades de aire interior antes de caer al piso de una altura de 1.5 metros [5].

Tabla 3.3. Cálculos aproximados (Ley de Stokes) sobre persistencia de aerosoles en el aire según su diámetro. Se estima la velocidad límite de caída que alcanzan (en ausencia de corrientes de aire) y el tiempo que demorarían a esa velocidad en caer 1,5 m. Notar que el tamaño de los aerosoles emitidos puede reducirse por evaporación, y por ende pueden demorar más tiempo en depositarse sobre las superficies.

Diámetro (μm)	Velocidad límite (m/s)	Tiempo necesario para descender 1,5 m
100	0,1504	10 segundos
50	0,03760	40 segundos
10	0,001504	17 minutos
5	0,0003760	1,1 horas
1	0,00001504	27,7 horas

Además de la velocidad de deposición dependiente del radio de la gotícula que ya mencionamos, debemos tener en cuenta que estas gotas también pierden agua por evaporación, y que la velocidad de este proceso también depende del radio. Normalmente se achican por evaporación en un 30%-50% de su tamaño inicial pocos segundos luego de ser emitidos [32]. Las gotas emitidas contienen no solo agua y compuestos volátiles dados por la mucosidad, sino también compuestos no volátiles entre los que destacan aquellos mostrados en la Tabla 3.4, alcanzando una masa total aproximada de 88 g/L. Esto es relevante porque, al evaporarse la gota, estos componentes siguen presentes en el aire, y pueden permanecer en él largo tiempo dependiendo de sus características físicas.

Tabla 3.4: Compuestos no volátiles mayoritarios en la mucosidad [32].

Compuesto	Concentración (g/L)
Na ⁺	2,1 ± 0,2
K ⁺	2,3 ± 0,4
Cl ⁻	6,8 ± 0,6
Lactato	3,9 ± 1,5
Glicoproteínas	76 ± 18

Un trabajo estudió el efecto combinado de la deposición y evaporación, y graficó el tiempo de caída al suelo y de evaporación total según el tamaño para gotas de agua o agua con sal [33], ver Figura 3.2. Ambos efectos tienen como resultado que luego de los primeros segundos de emisión, el radio promedio de las gotas presentes se achica, por deposición de las más grandes (radio > 100 μm aproximadamente) y por evaporación parcial o total de las más pequeñas.

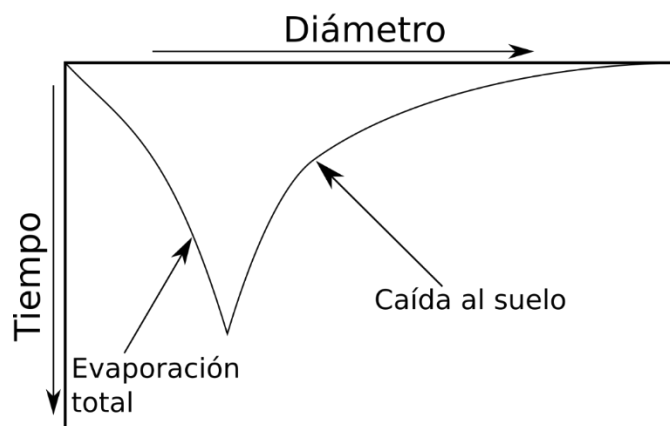


Figura 3.2. Comportamiento cualitativo de los tiempos de evaporación y deposición de los aerosoles respiratorios en función del diámetro (adaptada de [33]). El tiempo de evaporación es más relevante para las partículas más pequeñas y crece con el diámetro, mientras que el tiempo de deposición predomina para las partículas más grandes, y decrece con el diámetro.

4 Detección del virus en aerosoles

Investigaciones llevadas a cabo para otras enfermedades respiratorias tales como RSV, MERS-CoV e Influenza mostraron que partículas de aerosoles con virus viables pueden ser exhalados y detectados en ambientes interiores. Esto da suficientes razones para esperar que SARS-CoV-2 se comporte de forma similar y que las partículas de aerosol sean una vía de exposición importante [5].

Efectivamente, desde el comienzo de esta pandemia, se realizaron estudios que demostraron la presencia del virus en los aerosoles emitidos por pacientes de COVID-19, en las habitaciones de los mismos, o incluso en zonas cercanas de los hospitales donde recibían tratamiento. Se resumen algunos de esos trabajos en las secciones que siguen.

4.1 Detección de material genético viral en muestras de aire

Un trabajo analizó el contenido de ARN viral (por test PCR) en la respiración exhalada por personas sanas y contagiadas de COVID-19, en muestras de aire de hospitales y hoteles de aislamiento, y en hisopados de superficies, en Beijing, China [34]. Se tomaron condensados de respiración exhalada durante 5 minutos por 49 pacientes con COVID-19 (20 casos importados y 29 casos locales) y 15 de personas no contagiadas. Las 26 muestras de aire fueron tomadas con *impingers*, burbujeando aire sobre un volumen de líquido de cultivo. El estudio halló un 26% de muestras de condensado de respiración positivas para el virus SARS-CoV-2, una prueba directa de que las partículas emitidas al respirar contienen material genético del virus. Se estimó una tasa de emisión de entre $1,03 \cdot 10^5$ y $2,25 \cdot 10^7$ viriones por hora (10^5 - 10^7 viriones/ m^3), con una mayor tasa de emisión en las etapas tempranas de la enfermedad. En un caso se halló un hisopado positivo en un conducto de ventilación ubicado debajo de la cama de uno de los pacientes. Una sola muestra de aire (3,6% de las muestras) dio positiva ($6,07 \cdot 10^3$ viriones/ m^3), en un baño de un hotel de aislamiento que no contaba con ventilación.

Otro estudio mostró la presencia del virus en muestras de aire tomadas con un ciclón de pared húmeda en un hospital en Wuhan, China [35]. Se vio un mayor porcentaje de positividad en las unidades de terapia intensiva, llegando al 40,6% cerca de las camas de los pacientes (concentraciones promedio entre 3800 y 1400 copias de ARN/ m^3) y al 12,5% en la zona de los

médicos, a unos 4 metros (con un promedio de 52 copias de ARN/m³). En las salas generales hubo un menor porcentaje de positividad y de concentración viral (12,5% en las salas de los pacientes, 68 copias de ARN/m³, y 0% en los pasillos fuera de las salas). También se detectó el virus en hisopados de los conductos de ventilación de dichas áreas.

Un estudio en un hospital de Milan con filtros de gelatina detectó resultados positivos en muestras de aire en las salas de terapia intensiva y el pasillo de pacientes de esa zona, pero negativos para otras zonas del hospital [36]. Los autores no indicaron la concentración viral hallada en las muestras de aire.

Otro trabajo analizó muestras de aerosoles fraccionados por tamaño en un hospital en Singapur [37]. Se tomaron muestras de aire en tres salas generales de aislamiento, de las cuales dos tuvieron resultados positivos del virus SARS-CoV-2 en las fracciones de tamaño > 4 μm y 1–4 μm (muestradas directamente en tubos de centrifuga), mientras que las fracciones de < 1 μm (en cassetes de teflon) dieron negativo. También dieron negativas las muestras de aerosoles totales en filtros de teflon. Se hallaron concentraciones de 1,84.10³ a 3,38.10³ copias de ARN/m³. Los pacientes de las dos habitaciones con resultado positivo cursaban el día 5 de la enfermedad, mientras que el de resultado negativo cursaba el día 9, se encontraba asintomático y tenía un menor contenido de ARN viral en el hisopado nasofaríngeo, lo cual podría explicar una menor emisión de aerosoles con material genético viral. Adicionalmente, los hisopados de 5 conductos de ventilación dieron positivas en 3 de los casos.

Otro trabajo analiza el muestreo de aire en treinta sitios de dos hospitales en Wuhan, China [38]. Se tomaron muestras de aerosoles totales, tres muestreos con un impactador en cascada, y dos de deposición en el suelo, en todos los casos con filtros de gelatina. Los resultados muestran concentraciones virales muy bajas en las áreas de pacientes, < 19 copias de ARN/m³ en un hospital y < 1 copia de ARN/m³ en el otro, especialmente diseñado para pacientes de COVID-19. La concentración más alta hallada fue en un baño móvil. Esto indicaría según los autores que los sistemas de ventilación de ambos hospitales son eficientes. En las zonas de personal médico, se observaron concentraciones un poco más altas (< 42 copias de ARN/m³) que lograron ser reducidas por debajo del límite de detección luego de mejorar los protocolos de higiene, por lo que se hipotetiza que los aerosoles provenían de resuspensión a partir de los equipos de protección personal (PPE). Se detectó ARN viral en varias fracciones de tamaño (Fig. 4.1). En ambientes públicos los niveles estuvieron por debajo del nivel de detección salvo en tres casos, en lugares propensos a las aglomeraciones (dos de ellos eran al aire libre).

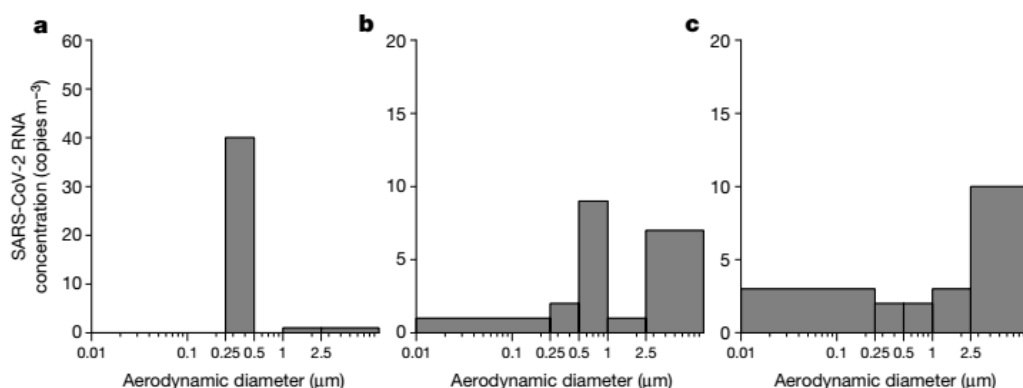


Figura 4.1.1. Copias de ARN viral de SARS-CoV-2 en aerosoles de distintos tamaños en tres espacios del Hospital de Fangcang, Wuhan, China. (a) y (b) corresponden a dos habitaciones donde el personal de salud se quita el equipo de protección personal y (c) a una oficina del personal de salud. Adaptada de [38].

Existen también algunos estudios con resultados negativos en muestras de aire. Por ejemplo, en un estudio en un hospital de Hong Kong, se midieron 6 muestras cerca de pacientes contagiados con SARS-CoV-2 con filtros de gelatina [39]. Las 6 muestras fueron negativas. Pero cabe resaltar que

cuando esos mismo seis pacientes estornudaron directamente sobre filtros de gelatina, solo 1 de ellos dio positivo. Solamente hubo 6 resultados positivos cuando los pacientes escupieron directamente sobre el filtro. Por lo que el resultado negativo en las muestras de aire puede estar relacionado con baja concentración, bajo tiempo de muestreo y/o baja eficiencia en la extracción del virus. Otro estudio en Singapur [40] también dio resultados negativos en la habitación del paciente (con filtros de teflon) y en el pasillo (con filtros de gelatina). Los autores indican que estos resultados negativos pueden deberse al bajo volumen muestreado.

Ante la variabilidad de resultados obtenidos, hay que tener en cuenta por un lado que los muestreos se realizaron en condiciones distintas (condiciones de ventilación, etapa de la infección de los pacientes, distancia del paciente al muestreador, etc). Pero también cabe destacar los distintos métodos de muestreo utilizados en los estudios mencionados (caudales de aire, tiempos de muestreo, tipo de muestreador, medio de muestreo, etc.), que hace que no sean fácil una comparación cuantitativa entre ellos. No existe aún una metodología estándar para muestrear estos aerosoles [41]. Impactadores y ciclones comúnmente usados para hacer muestreos segregados por tamaño suelen traer problemas para mantener la viabilidad del virus (ver siguiente sección) y para recuperar los tamaños más pequeños de aerosoles ($< 1 \mu\text{m}$). Los *impingers* muestrean en líquido (mejores para la viabilidad del virus) pero por su diseño tienen problema con el ingreso de las partículas más grandes ($> 5 \mu\text{m}$) y en algunos diseños puede haber otros problemas de eficiencia de colección, por re-aerosolización. Los sistemas en base a filtros son mejores para los menores tamaños de partículas, pero se ha sugerido que la filtración produce deshidratación del virus, y el posterior proceso de extracción del virus produce un gran porcentaje de inactivación del mismo. La revisión de bibliografía realizada indicaría que para SARS-CoV-2 se detectan mayores concentraciones con métodos con medio líquido de colección, en contraste con los números más bajos hallados con impactadores y filtros. En todos los casos, el caudal de muestreo debe ser elegido de forma cuidadosa: hay que muestrear un volumen suficiente de aire (debido a las bajas concentraciones de virus en aire), en tiempos relativamente cortos (para mantener la viabilidad del virus), pero caudales muy altos pueden dañar al virus.

Finalmente, hay que resaltar que estos estudios detectan la presencia de material genético del virus, pero no aseguran que el virus tenga capacidad infecciosa. Los estudios de la siguiente sección se enfocan en esto último.

4.2 Detección de virus viable / infeccioso en aerosoles

Un estudio analizó muestras de aire tomadas en filtros de gelatina en el Centro Médico de la Universidad de Nebraska [42]. Las muestras tomadas habitaciones de los pacientes y en los pasillos cercanos dieron positivas en un 63.2 % y 58.2 % de los casos, respectivamente, con una concentración promedio de 2420 y 2510 copias de ARN/ m^3 . Llegaron a medir valores de hasta 48220 copias de ARN/ m^3 mientras un paciente recibía tratamiento de oxígeno con una cánula nasal. Algunas de las muestras positivas fueron estudiadas en cultivos celulares y se vieron resultados que indicarían replicación de ARN viral (es decir, que el ARN hallado tenía capacidad infecciosa) pero no se pudo hacer una cuantificación del porcentaje de virus viable, debido a la baja cantidad de ARN recuperado. Los autores destacan que se observó ARN viral aún en ausencia de tosidos de los pacientes, lo cual sugiere que se trata de aerosoles emitidos al hablar o respirar (aunque no se determinó el tamaño de los mismos). Y también destacan que 2 muestras positivas de las habitaciones fueron obtenidas a más de 2 metros de los pacientes, y que los positivos de los pasillos son evidencia del transporte del virus fuera de las habitaciones (probablemente por el flujo de aire debido al movimiento del personal médico).

Otro estudio, en el hospital de la Universidad de Florida, USA, usó dos muestreadores de aire en una habitación con dos pacientes infectados (uno a 2 m de la cabeza del paciente 1 ya 4,6 m del paciente 2, y el otro a 4,8 m del paciente 1 y 3 m del paciente 2), [43]. Usaron un método original de muestreo que condensa los aerosoles respiratorios con vapor de agua. El estudio detectó ARN viral de consistente con el que portaba el paciente 1 (quien llevaba menos días cursando la

enfermedad), en concentraciones de 94000 a 30000 copias de ARN/m³ a 2 m de su cabeza y 44000 a 16000 copias de ARN/m³ a 4,8 m. La habitación contaba con una ventilación que aseguraba 6 cambios completos de aire por hora. El estudio analizó la capacidad infecciosa de los virus colectados, y halló que a 2 m había 74000 a 18000 unidades viables de virus /m³, y a 4,8 m entre 27000 a 6000 unidades viables de virus /m³.

Si bien todavía no se conoce con la dosis de virus necesaria para generar una infección de COVID-19 por vía aérea ([44] y referencias contenidas), estos estudios muestran que hay una fracción apreciable del virus hallado en aerosoles que es viable y podría transmitir la enfermedad.

5 Estabilidad del virus en aerosoles

Los estudios de laboratorio respecto de la estabilidad del virus en aerosoles son reducidos aún, pero permiten estimar si el virus permanece viable el tiempo suficiente para que deba ser tenido en cuenta en las medidas de prevención.

Un estudio analizó la eficiencia para generar aerosoles del SARS-CoV-2 comparado con SARS-CoV y MERS-CoV, y la estabilidad de los aerosoles generados [45]. Los aerosoles se pudieron generar con buena eficiencia, logrando un rango de tamaño de 1 a 3 µm. La estabilidad fue estudiada a 23°C ± 2°C y 53% ± 11% en un tambor rotatorio (“Goldberg drum”) en oscuridad. Durante las 16 horas del experimento se mantuvo casi constante la concentración del virus (tanto la presencia de material genético como su capacidad infecciosa, así como la apariencia de los viriones por microscopía electrónica de barrido), no pudiendo determinar un valor de vida media por la cantidad limitada de datos.

Un estudio comparativo de la estabilidad de SARS-CoV-2 y SARS-CoV-1 [46], mostró que la viabilidad del virus supera las 3 horas en aerosoles generados en laboratorio, con una reducción de sus título de 10^{3.5} a 10^{2.7} TCID₅₀ por litro. Para el SARS-CoV-1 hubo una reducción similar, de 10^{4.3} a 10^{3.5} TCID₅₀. Estos números se traducen en una vida media (tiempo en que la concentración del virus se reduce a la mitad) de aproximadamente 1,1 a 1,2 horas para ambos virus, con intervalos extendidos de incertidumbre al 95% de 0,64 a 2,64 horas para SARS-CoV-2 y 0,78 a 2,43 horas para SARS-CoV-1. Cabe destacar que estas mediciones fueron realizadas también en un tambor rotatorio (“Goldberg drum”) en oscuridad, por lo que la vida media en ambientes con luz solar (entre otros factores que afectan su viabilidad) podría ser menor.

Un estudio sobre estabilidad del SARS-CoV-2 sobre acero sugirió que el efecto de la radiación solar en la desactivación del virus podría ser un factor de importancia, disminuyendo el riesgo de contagio [47]. Un estudio posterior generó aerosoles del virus en tambores rotatorios donde podían controlar con precisión temperatura y humedad, así como exponerlos a radiación solar artificial [48]. Generaron aerosoles con medio de cultivo o saliva artificial buscando un diámetro promedio cercano a los 2 µm. En oscuridad, el efecto de la humedad relativa (variada entre 20% y 70%) no fue estadísticamente significativo, aunque sí se observaron interacciones con los efectos de los otros factores. La radiación solar fue el factor más relevante. Por ejemplo, en saliva artificial, la vida media en oscuridad fue de aproximadamente 125 minutos, mientras que al introducir radiación solar equivalente un mediodía de invierno o de verano la vida media se redujo a 8 y 3 minutos, respectivamente. En medio de cultivo la estabilidad fue menor, salvo para la mayor intensidad de luz (77 minutos, 6 minutos y 5 minutos). Esto indica que la estabilidad del virus depende de la composición química del aerosol, la cual puede variar durante el curso de la infección. Los resultados en oscuridad son similares a los obtenidos en otro estudio [46] e indican que la persistencia del virus en espacios interiores puede ser relevante para el contagio de COVID-19 vía aerosoles.

Si bien al momento no hay estudios publicados que muestren el efecto de la temperatura en la estabilidad del virus en aerosoles, se ha demostrado que en saliva y moco nasal humanos las temperaturas altas reducen la vida media del virus [49]. Una revisión crítica de bibliografía sobre la estabilidad del virus de la Influenza dejó en claro que la temperatura reduce la vida media del virus,

tanto en superficies como en agua y aire [50]. El mismo estudio analizó el efecto de la humedad relativa y halló que el aumento de la humedad relativa (descontando el efecto de la temperatura) también reduce la viabilidad. Esto en parte explicaría la estacionalidad de tales enfermedades.

Un artículo reciente que aún no ha sido revisado por pares analizó la estabilidad del SARS-CoV-2 en gotas depositadas sobre polipropileno [51]. El estudio muestra que la viabilidad del virus se reduce a mayores temperaturas. El efecto de la humedad parece ser más complejo, e indicaría que la estabilidad se reduce a humedades intermedias (65%) respecto de humedades mayores o menores (85% y 40%), debido a los mecanismos involucrados.

La bibliografía revisada parece suficiente para afirmar que el virus puede permanecer viable en aerosoles varias horas (especialmente en espacios interiores, sin presencia de luz solar o radiación UV de otro origen). El efecto de la temperatura y humedad aún no ha sido estudiado en suficiente profundidad, y podría tener relevancia para entender variaciones estacionales de la transmisión del virus, aunque deben ser contempladas en conjunto con los cambios en los comportamientos sociales que acompañan los cambios de estación (tiempo al aire libre, uso de sistemas de calefacción o aire acondicionado, etc.). Respecto de la posibilidad del control de la temperatura y humedad como medida de prevención, la dificultad reside en que el control de estas variables puede competir con otras medidas que se consideran más importantes, como ser la ventilación y filtrado (ver secciones siguientes).

6 Medidas de prevención

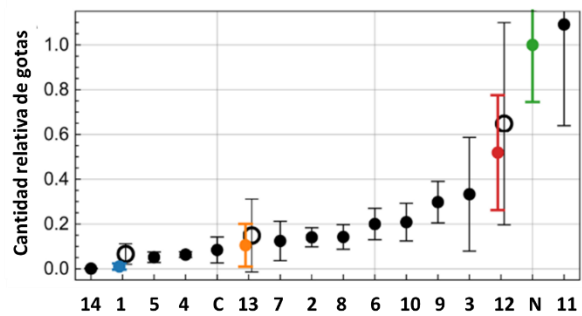
En esta sección se resume la información más relevante encontrada respecto a las principales herramientas de prevención de contagio del virus SARS-CoV-2 mediante aerosoles respiratorios humanos. La baja atención dedicada, hasta el momento, a esta vía de transmisión hace que las medidas de prevención no sean tan precisas ni tengan tanta difusión como las destinadas a frenar los contagios a través de “fómites” y gotas. Es por ello que las sub-secciones siguientes contienen información general asociada a cada estrategia de control de la propagación por aerosoles que pueda ayudar a considerar su aplicación, su interacción con las medidas ya recomendadas para las otras dos vías de transmisión y el abordaje inteligente para los diversos escenarios de implementación. Se incluyen como bibliografía guías que han sido desarrolladas por instituciones académicas de prestigio internacional por expertos en el área, que pueden ser usadas como punto de partida.

6.1 Control de fuentes. Barbijos. Ocupación.

Para disminuir la presencia de un determinado compuesto en el ambiente, una de las primeras medidas es limitar la emisión. La principal fuente de emisión de SARS-CoV-2 en el aire es el ser humano y es por ello que la primera y más expandida regla para control de propagación del virus en espacios cerrados es disminuir su ocupación y evitar la aglomeración de personas [52]. Bajar la ocupación, además de permitir un aumento de la distancia promedio entre ocupantes, permite disminuir la presencia de potenciales fuentes de emisión del virus.

El uso de barbijos, máscaras o tapabocas es una medida ampliamente recomendada para mitigación de la propagación de virus respiratorios, principalmente por su capacidad de retención de las gotas de trayectoria balística (y, con menor eficiencia, de los aerosoles) que son expelidas durante la respiración, el habla, etc. [53]. Sin embargo, la eficacia de estos dispositivos tapabocas depende de múltiples factores entre los que se encuentran el material, el diseño y el ajuste en la cara [54], [55].

En un estudio reciente, Fischer y col. [56] compararon la eficiencia de distintos materiales típicamente utilizados como tapabocas para la filtración de gotas y aerosoles respiratorios mayores a 0,5 μm . En la Figura 6.1.1 se muestran los resultados obtenidos en términos del porcentaje de gotas mayores a 0,5 μm que atravesaron cada material respecto de las emitidas por el hablante sin protección alguna.



b)

Figura 6.1.1. a) Fotografías de los dispositivos tapabocas utilizados. b) Cantidad de gotas relativa a la emitida por el hablante sin tapabocas. C: cinta de polipropileno, N: nada. Adaptado de [56].

Por su parte, Leung y col. [57] estudiaron la capacidad de contención de diferentes virus por medio de barbijos quirúrgicos. Para ello determinaron de la cantidad de copias del virus tipo coronavirus, rinovirus o influenza, en las gotas emitidas por pacientes infectados. El análisis fue diferenciado para gotas con tamaño superior o inferior a $5 \mu\text{m}$. En este trabajo se da evidencia que indicaría que los virus tipo coronavirus podrían ser completamente retenidos por los barbijos quirúrgicos independientemente del tamaño de las gotas en las que fueran transportados.

Asadi y col. [58] utilizaron 10 (6 hombres y 4 mujeres) voluntarios a los que se hizo hablar, respirar o toser dentro de una cámara capaz de coleccionar los aerosoles emitidos y medir la distribución de tamaño de partículas. Los autores advirtieron una eficiencia superior de los barbijos quirúrgicos y los N95 frente al uso de dispositivos tapabocas caseros como remeras dobladas o incluso hojas de papel toalla para la retención de aerosoles formados por partículas con diámetros inferiores a los $5 \mu\text{m}$. Respecto al papel toalla, es necesario resaltar que la eficiencia conseguida no fue muy inferior a la de los barbijos comerciales analizados.

En un minucioso estudio, Konda y col. [59] establecieron la capacidad de filtración de partículas de tamaño superior e inferior a $0,3 \mu\text{m}$ generada por barbijos de tela. En dicho estudio se concluyó que el uso de algodón, la superposición de capas de tela y la combinación de telas que permiten combinar la filtración mecánica con la electrostática resultan beneficiosos para la capacidad de filtración de gotas y aerosoles. Como se puede ver en la Tabla 6.1.1 tomada del trabajo de Konda y col., las eficiencias van desde 9 a 97 % para partículas de tamaño inferior a $0,3 \mu\text{m}$ y de 12 a 99,9 para las de tamaño superior a $0,3 \mu\text{m}$. Los investigadores también incluyeron en la evaluación a los barbijos quirúrgicos y N95, obteniendo resultados similares a los de Fischer y col. [56].

Es interesante resaltar que los autores estudiaron el efecto de la presencia de un espacio (gap) entre el tapabocas y el contorno de la cara. Para simular la presencia de un espacio por falta de ajuste realizaron un orificio equivalente al 1% del área de cada barbijo. En todos los casos la eficiencia de contención de partículas cayó considerablemente, como puede verse en la Tabla 6.1 para los barbijos N95 y quirúrgicos.

Tabla 6.1.1. Eficiencia de filtrado de barbijos N95 y quirúrgico con y sin “gap”. Tabla adaptada de [59].

Muestra	Eficiencia de filtrado (%)	
	diámetro < 300 nm	diámetro > 300 nm
N95 sin “gap”	85 ± 15	99,9 ± 0,1
N95 con “gap”	34 ± 15	12 ± 3
Quirúrgico sin “gap”	76 ± 2	99,6 ± 0,1
Quirúrgico con “gap”	50 ± 7	44 ± 3

Consistentemente con este resultado, Verma y col. [60], [61] mostraron que el uso de casi cualquier tapabocas o protector facial permite el escape de gotas inferiores a 10 μm . Los autores estudiaron el movimiento de la pluma de aerosoles emitida al cabo de un evento de tos generado por un maniquí realista (Figura 6.1.2). Las gotas fueron visualizadas por dispersión de luz laser distribuida en dos planos perpendiculares entre sí. Según concluyeron, la contención de dichos aerosoles resulta menos eficiente para los dispositivos con menor ajuste. De esta forma la peor eficiencia de contención es para las máscaras faciales de acetato, siguiendo por los dispositivos con válvulas de respiratorias (como en el caso de los N95 con válvula) y posteriormente aquellos que menos rígidos que permiten un mejor ajuste como los barbijos quirúrgicos.

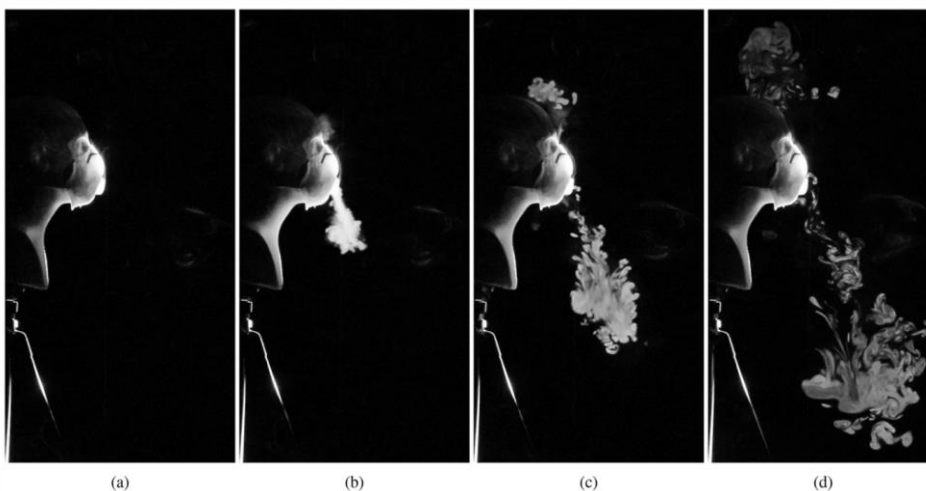


Figura 6.1.2. Visualización de la dispersión de la gota cuando se utiliza una máscara N95 equipada con una válvula exhalación. (a) Antes de emular una tos/estornudo, (b) 0,2 s después del inicio de la tos emulada, (c) después de 0,63 s y (d) después de 1,67 s. Figura adaptada de [61].

Estos autores, observan no sólo que muchos dispositivos son ineficientes, sino que también el curso de movimiento de las gotas que escapan no es necesariamente descendente. Esto se debe a que las gotas exhaladas están a mayor temperatura que la del ambiente y tienden a dirigirse hacia arriba.

Es necesario aclarar que cuando el emisor es un ser humano, es esperable que una parte del aire exhalado y sus componentes, incluyendo aerosoles conteniendo partículas de SARS-CoV-2, queden atrapados en un flujo de aire ascendente generado por la temperatura corporal del individuo. Como demuestran Bhagat y col. [62], aunque los barbijos no frenan la totalidad del flujo de aire saliente de boca y nariz en distintas situaciones de exhalación, permiten que los componentes de dicha exhalación sean arrastrados de forma ascendente y que se acumulen en la parte superior de una habitación.

Finalmente, la OMS establece que los niños menores de 5 no deben usar barbijos, y en el caso de niños de entre 6 y 11 años su uso depende de la evaluación de riesgo potencial de contagio en cada situación [53]. Estas recomendaciones, en vistas de la potencial transmisión a través de aerosoles,

podrían resultar un riesgo cierto de propagación del virus en las escuelas cuando el dictado de clases se lleve a cabo en espacios cerrados.

6.2 Distanciamiento

Las medidas de distanciamiento que sugiere la OMS hasta el momento se basaban en la presunción de que la mayor vía de transmisión eran las gotas de fluido emitidas al toser y respirar, y que estas caían al suelo antes de los 1,5-2 m. Por un lado, como se menciona en la Sección 3, una distancia de 1,5 m o 2 m no parece ser siempre suficiente, ya que el “chorro” de emisión de un paciente sintomático puede llegar mucho más allá, aunque el uso correcto del barbijo puede mejorar la situación (ver sección anterior). Pero, por otro lado, la probable relevancia de las gotas de menor tamaño en el contagio obliga a tener en cuenta otros análisis.

Lo cierto es que la distancia no sólo es importante para el riesgo de contagio por gotas de tamaño mayor a 100 μm (de trayectorias “balísticas”), sino que los aerosoles ($< 100 \mu\text{m}$) que emitimos al respirar, hablar o cantar también tienen una concentración mucho mayor cerca de la persona que los emite, como es de esperar. Un estudio de modelado comparó la relevancia de los distintos tamaños de gota en función de la distancia, mostrando que los aerosoles quizás también sean los responsables de los contagios por “contacto cercano” [63]. El estudio sugiere que sólo a distancias menores a 0,2 m (al hablar) o 0,5 m (al toser) predomina el contagio por deposición de gotas mayores a 100 μm en las mucosas. A distancias mayores, predomina la inhalación de gotas menores a 100 μm . Este valor sirve de límite aproximado entre las definiciones usuales entre gotas y aerosoles. La exposición a ambas vías decrece rápidamente con la distancia, siempre considerando un evento puntual de emisión. El estudio sugiere que el uso de barbijo puede reducir bastante el riesgo de los contagios por contacto cercano (por ambas vías) ya que el flujo exhalado sale así con menos velocidad, y probablemente sea arrastrado hacia la parte alta de la habitación por la pluma de aire cálido que rodea el cuerpo de la persona.

En espacios exteriores, la dilución del virus con aire fresco (Sección 6.3) hace que en muchos casos el distanciamiento recomendado pueda ser suficiente (la Sección 6.7 señala algunas formas de hacer estimaciones). Pero en espacios interiores, la emisión constante de aerosoles sin remoción adecuada puede permitir que se acumulen. Como se indica en la Sección 4, gotas de menos de 100 μm pueden permanecer tiempos de decenas de segundos a horas, lo que les permite recorrer distancias grandes (dependiendo de la velocidad del aire interior). Estos cálculos están respaldados por la evidencia de detección de virus viable a distancias entre 2 m y 4.8 m del paciente [43], y también por eventos de supercontagio que no pueden explicarse sólo por contagios a distancias cortas [24], [26], [27]. Es decir que en espacios interiores no podemos recomendar fácilmente una “distancia segura”, sino que deben utilizarse múltiples capas de medidas de prevención (principalmente, reducir la cantidad de ocupantes, uso correcto de barbijos, distanciamiento, ventilación, y otras posibles medidas adicionales).

6.3 Ventilación

La ventilación (incorporación de aire exterior, virtualmente libre de aerosoles respiratorios) juega un papel central en la eliminación de aire cargado de virus ya que permite bajar la concentración de patógenos en el aire y, con ello, la dosis inhalada por sus ocupantes [64], [65]. En un reciente trabajo, Morawska y col. [66] hacen una detallada recopilación de trabajos sobre los beneficios de aplicar medidas que permiten aumentar la ventilación de los ambientes cerrados.

En función de su origen, la ventilación puede ser clasificada como natural o forzada. La manera más habitual de favorecer la ventilación natural es “abrir las ventanas” para permitir la ventilación de ambientes diseñados a dicho efecto. La efectividad de la dilución de los patógenos en aire exterior “limpio” es el principio rector detrás de la reapertura de muchas actividades sociales, recreativas y laborales o durante la pandemia [64], [65].

Uno de los espacios cerrados más delicados respecto a la ventilación son las guardias médicas. A pesar de la simplicidad del acto de “abrir las ventanas”, el diseño, operación y mantenimiento de las instalaciones con ventilación natural no son cuestiones sencillas de abordar y se resumen en una extensa guía desarrollada por la OMS destinada instalaciones médicas [67]. Recientemente, la OMS también publicó una guía donde establece que en las guardias debe mantenerse un flujo de 160 L/s/paciente en el caso de usarse ventilación natural para prevenir la infección por medio de aerosoles [68].

Sin embargo, la aplicación de ventilación natural depende fuertemente de que las condiciones climáticas sean favorables y de la buena calidad del aire exterior. De acuerdo con Morawska y col. [66], en los casos en que otras alternativas sean de difícil aplicación, debería contemplarse la disposición de equipos de calefacción en época invernal mientras se favorece la circulación de aire manteniendo las áreas abiertas y ventiladas. Alternativamente, realizar ciclos de ocupación-ventilación puede llevar a un aumento de la prevención de propagación del virus cuando no es posible mantener la ventilación de manera constante [69].

La ventilación forzada es provista por sistemas de climatización (HVAC por su sigla en inglés). El riesgo que presupone el uso de sistemas de climatización para la propagación de virus en aerosoles puede basarse en dos mecanismos principales: recirculación de aire contaminado y/o posible generación de condiciones interiores (temperatura y humedad) que favorezcan la supervivencia del virus. Además de un correcto mantenimiento de la limpieza de los conductos de aire, en líneas generales, algunas guías recomiendan el uso de temperaturas superiores a 21 °C y de humedades relativas por encima del 40% ya que desfavorecen la viabilidad del virus en aire [70]. Sin embargo, como se vio en la Sección 5, el efecto de la humedad en la estabilidad del virus SARS-CoV-2 aún no se comprende totalmente.

Los sistemas de climatización también permiten el aumento del flujo de ventilación. Si embargo, esta modificación requiere de la actuación de ingenieros y especialistas. Algunas asociaciones de profesionales han actualizado recientemente sus guías de recomendaciones para prevenir la transmisión de COVID-19 a través del aire en ambientes y edificios cerrados con sistemas de climatización [69], [71], [72]. Debe notarse que en muchas ocasiones el control de la temperatura y humedad puede ser menos eficiente (o requerir un mayor consumo de energía) al aumentar el flujo de aire exterior, pero que este contexto la ventilación debe ser la prioridad.

El aumento de la ventilación en un espacio cerrado puede estimarse por medio de la tasa de recambio de aire, esto es, la cantidad de veces que se renueva el aire de una habitación por hora (ACH, por su sigla en inglés). Un valor de referencia usualmente deseado para establecer que un ambiente está bien ventilado es de 6 ACH. A modo de referencia se listan en la Tabla 6.3.1 los requerimientos de tasa de recambio de aire en algunos espacios cerrados.

La determinación de la tasa de recambio es entonces una herramienta relevante para el control de la ventilación de un espacio cerrado. A modo de referencia, Allen y col. [73] desarrollaron una guía en 5 pasos para medir la tasa de recambio en salones de clases. Vale mencionar que la determinación de la tasa de recambio de aire necesaria para un determinado nivel de riesgo debe contemplar la cantidad de personas presentes en la habitación, el tipo de actividad respiratoria realizada, el uso de los barbijos, etc.; en la Sección 6.7 se indican modelos que permiten estudiar el efecto de los distintos factores en simultáneo.

Tabla 6.3.1. Tasa de recambio recomendada para diferentes espacios internos [74], [75].

Espacio	ACH
Estacionamiento subterráneo	15–30
Sótanos	3–4
Habitaciones	5–6
Baño residencial	6–7
Living	6–8
Cocina residencial	7–8
Oficinas	6–8
Cuartos de reunión	8–10
Cuartos de fotocopiado	10–12
Restaurantes	8–10
Negocio minorista al público	6–10
Iglesia	8–12
Teatros	12–14
Cocinas y baños en comercios	12–30
Salón de clases	3–4

Otra herramienta propuesta por Bhagat y col. [62] es el monitoreo de la concentración de CO₂ en un ambiente. El éxito de la ventilación por desplazamiento radica en mantener una zona de aire fresco y “respirable” por debajo de una zona caliente y cargada tanto de contaminantes volátiles como de aerosoles exhalados. Este efecto es conocido como estratificación. El aire exhalado por un individuo en reposo, cargado de aerosoles y CO₂, usualmente es conducido hacia arriba dado que su temperatura es frecuentemente mayor al de la zona inferior del cuarto en que se encuentra. De esta manera, cuanto más deficiente sea la ventilación de un ambiente, mayor sería la concentración de CO₂. Si bien el ascenso del CO₂ no es necesariamente equivalente al de los aerosoles podría ofrecer una buena alternativa para estimar el grado de ventilación de un cuarto.

La ventilación de espacios interiores puede resultar en un complejo problema de fluidodinámica cuando las habitaciones cuentan con la ocupación de personas, equipos, dispositivos electrónicos, etc, que suponen emisión de calor y corrientes de aire internas, pero también por su calidad de obstáculos para la circulación del aire. En este sentido, una de las medidas de mitigación que merece ser discutida es la aplicación de “baffles” o ventanas de acrílico que se recomiendan para su uso en locales comerciales [16]. La intención es aumentar la protección de los empleados frente a las gotas de mayor tamaño y trayectoria balística de los clientes, pero también se asume que supone una buena separación de los flujos de aire internos. Sin embargo, esta medida de simple aplicación, debe hacerse de manera criteriosa ya que puede derivar en una circulación obstruida y una ventilación deficiente, que causen un riesgo mayor que el que se busca preveer [76], [77].

Un problema particular es la ventilación de espacios interiores en hogares. Los hogares en los que uno o más convivientes son personas susceptibles al SARS-CoV-2 (por ejemplo, mayores de 65 años) o contagiadas en recuperación deberían poder contar con herramientas para generar zonas donde corran menor riesgo de contagiarse o de contagiar a los demás convivientes, respectivamente. En este sentido en el sitio de SPHERE (Sustainable Performance of Healthy & Efficient Residential Environments), una iniciativa de las Universidades Colorado State, Illinois y Washington, pueden

descargarse guías realizadas al efecto [78]. Allí se dan recomendaciones sencillas y puntuales, como maneras de generar un sistema de extracción de aire por medio de ventiladores de pie, orientada al público en general.

6.4 Filtración

Morawska y Milton [5] recomiendan complementar la ventilación general con controles adicionales, entre ellos, el uso de filtros de aire de alta eficiencia y el uso de irradiación con luz ultravioleta del tipo germicida. En la misma línea, otros expertos [79] hacen énfasis en el concepto de ambientes “bien ventilados” y proponen una guía para pensar como obtener una calidad de aire más segura (aunque aclaran que se refiere a una mejora y no a generar aire intrínsecamente seguro). Entre los lineamientos que proponen, especialmente para aquellos casos en los que incrementar la ventilación no es posible o no es conveniente por el alto nivel de contaminación externa, se encuentra el uso de emplear filtros de aire. Se resalta que la implementación puede ser complicada, porque se requieren filtros de alta calidad del tipo MERV-13 (la clasificación MERV utiliza números del 1 al 16 según su eficiencia creciente para filtrar partículas de 0,3 a 10 μm de diámetro) o HEPA (que filtran el 99,97% de las partículas de 0,3 μm). Es interesante destacar que no hay necesidad de desarrollo tecnológico de nuevos filtros sino evitar errores de implementación. Un error común es la instalación de sellos con fallas que permiten un by-pass del aire, disminuyendo la calidad del filtrado. En otros casos, el problema es que estos filtros no pueden emplearse por la gran pérdida de carga que generan y la consecuente necesidad de ventiladores de mucha potencia. Otro problema que presentan estos filtros es la necesidad de reemplazo frecuente. Una indicación importante es que la unidad de filtración instalada en un ambiente debe ser tal que permita seis o más cambios de aire por hora (cuando no se cuenta con una ventilación apropiada). En línea con la mejora de la calidad de aire interior de edificios públicos, la escuela de Salud Pública de la Universidad de Harvard [80] publicó una guía para evaluar la ventilación en escuelas y para seleccionar sistemas de filtración y ventilación con miras a la re-apertura de las escuelas en medio de la pandemia del COVID-19 y brinda acceso a una planilla de cálculo para seleccionar los filtros portátiles adecuados a cada espacio.

Existen también antecedentes en la literatura especializada de la eficiencia del uso de filtros portátiles o montados en el techo en conjunto con dilución de la ventilación para el control de la exposición a tuberculosis en sitios de alto riesgo [81]. La eficiencia del empleo de filtros de aire ha sido investigado profusamente tanto en pruebas de cámara como en campo y los resultados indican que son muy efectivos para remover material particulado, incluyendo las gotas respiratorias [82].

Quienes ponen como objetivo el filtrado de un virión (de un diámetro de aproximadamente 0,12 μm) indican que los mejores filtros son los ULPA (Ultra-low penetration air) que colectan el 99,99% de las partículas de 0,12 μm y mayores [83]. Los autores indican que podrían ayudar a remover partículas depositadas en superficie mediante su aerosolización por combinación del empleo de ventiladores o aspiración para capturarlas en los filtros y no depender tanto de la esterilización periódica manual.

Actualmente, las tendencias en manejo de la ventilación para el cuidado de la salud son minimizar tanto la recirculación como la demanda energética para el aire de interiores. El trabajo de revisión realizado por Mousavi y col. [84] analizó 20 códigos, guías, estándares y manuales relacionados la ventilación de instalaciones de cuidado de salud. Afirman que la combinación de recirculación y filtración del aire puede reducir sustancialmente el riesgo de propagación de la enfermedad. La combinación de filtros HEPA y la recirculación ha sido muy efectiva en quirófanos, salas de aislamiento de infecciones transmitidas en forma aérea y otros. Así como se ha observado una reducción significativa de colonias de bacterias, se esperan resultados similares para el SARS-CoV-2. Se resalta la capacidad de los filtros HEPA para retener partículas sub-micrométricas, y se recomienda su uso en áreas hospitalarias donde normalmente no se emplean. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el incremento en la pérdida de carga debido al empleo de los filtros HEPA. Cuando la pérdida de carga aumenta y la velocidad del ventilador se mantiene constante se observa

una reducción en el suministro de aire al espacio en cuestión. Esto puede resultar en un sistema fuera de balance que puede incrementar la distribución de la enfermedad. En algunos casos, por lo tanto, puede recomendarse usar filtros de menor capacidad de filtrado (por ejemplo MERV-13), en combinación con otras medidas de prevención.

6.5 Radiación UV-B o UV-C

Como se indicó en la sección anterior, se recomienda el uso de luz ultravioleta del tipo germicida para complementar la ventilación general [5].

Mientras que la filtración es crítica para mantener la calidad del aire de un hospital, los filtros pueden dar albergue a organismos viables e incluso, a veces, apoyar su crecimiento convirtiéndose el filtro en una fuente de contaminación [84]. NIOSH, ASHRAE y CDC han recomendado la combinación de filtración con desinfección, por ejemplo, la irradiación con lámparas de luz ultravioleta germicida. El uso de radiación UV germicida en los ductos de ventilación es atractiva, pero se debe elegir adecuadamente la velocidad del aire. Un estudio con cinco bacterias que se transmiten por vía aérea mostró la inactivación de casi todos los microorganismos de los ductos de ventilación cuando se emplearon velocidades de 3 m/s, pero la eficiencia se redujo a un 80% de inactivación cuando se elevó la velocidad del aire a 6 m/s [85].

Si bien varios autores sugieren el uso de irradiación UV para desinfectar los N95 [86] y permitir su reuso o incluso desinfectar respiradores [87], son escasos pero promisorios los trabajos donde se ha comprobado la eficiencia de la irradiación UV para la desactivación del SARS-CoV-2. Schuit y col. [48] emplearon luz solar simulada y estudiaron su efecto en la estabilidad del SARS-CoV-2 en aerosoles. Encontraron que en todos los niveles de luz solar simulada (UV-A y UV-B) se alcanzó un 90% de inactivación del virus tiempos de irradiación menores a 1 h. Por otro lado, Simmons y col. [88] estudiaron la desinfección de superficies y respiradores N95 empleando luz ultravioleta UV-C pulsada usando como fuente de irradiación una lámpara de Xe (PX-UV). Sus resultados (Tabla 6.5.1) los llevaron a concluir que el uso de PX-UV puede ser empleada para una rápida desinfección de superficies.

Tabla 6.5.1. Adaptada de [88]. Efecto de luz ultravioleta de xenon pulsada sobre virus SARS-CoV-2 depositado sobre portaobjetos o sobre respirador N95. UV-C: luz ultravioleta C. UPF: unidades formadoras de placa. N/A: no aplicable.

Superficie	Tiempo de exposición a UV-C (minutos)	Título viral [\log_{10} (UPF/mL)]				% de reducción	\log_{10} de reducción respecto de los controles
		1	2	3	Promedio		
Portaobjetos	0	6,04	6,28	6,28	6,20	N/A	N/A
Portaobjetos	1	3	2,45	2,56	2,67	99,97	3,53
Portaobjetos	2	2,38	<1,3	<1,3	<1,66	>99,997	>4,54
Portaobjetos	5	<1,3	2,15	2,8	<2,08	>99,992	>4,12
Barbijo N95	0	6,84	6,04	6,18	6,35	N/A	N/A
Barbijo N95	5	<1,3	<1,3	2,08	<1,56	>99,998	>4,79

6.6 Higiene de superficies

El riesgo que revisten los aerosoles está vinculado a su capacidad de mantenerse suspendidos en el aire durante mayor cantidad de tiempo que las gotas de trayectoria balística. Sin embargo, eventualmente, estos alcanzarán el suelo u otras superficies como techos, paredes, muebles, ropa de sus ocupantes etc. En la Sección 4 de este informe se remiten trabajos que mencionan la presencia de ARN viral de SARS-CoV-2 en conductos de ventilación conteniendo copias de ARN viral [34] o de virus Influenza en protectores faciales a distancias mayores a los 2 m recomendados [55]. Es por

ello que la higiene de superficies también protege de la deposición de aerosoles, y debe extenderse a otras superficies, fuera del alcance de las gotas [3], [4]. Es importante destacar que esta vía de contagio, fómites provenientes de aerosoles, es considerada poco influyente en la propagación del virus debido a la baja concentración del virus dispersado en superficies de escaso contacto, pero su mención da un panorama más completo de la vía de aerosoles.

6.7 Estimación de riesgo. Modelos.

En el estudio del caso del ensayo de canto del Skagit Valley Chorale ya mencionado en la Sección 5.1 [24], se usó un modelo de riesgo clásico (modelo de Wells-Riley con las correcciones de Gammaitoni y Nucci) y se estimó la tasa de emisión de aerosoles del caso inicial tomando como dato la tasa de contagios secundarios del brote. A partir de allí estimaron el efecto de distintas medidas de reducción de riesgo. Por ejemplo, se calculó que modificando el recambio de aire (efecto combinado de ventilación y/o filtrado de aire) hasta los niveles normalmente recomendados (coeficiente de pérdida incrementado de 0,6 cambios por hora a 5 cambios por hora), el riesgo de contagio bajaría de 91 % a 42 %. Para reducirlo por debajo del 10 %, el modelo indica que hubiera sido necesario bajar la duración del ensayo de 2,5 horas a 0,5 horas. Esto muestra la relevancia de a ventilación y la reducción del tiempo de exposición como herramientas de reducción de riesgo. El uso de barbijos (que reduce la tasa de emisión) también fue indicada como una herramienta útil para reducir el riesgo.

Un trabajo propone un modelo predictivo para estimar la emisión de virus en función de la carga viral en saliva y la tasa de emisión de partículas respiratorias para distintas actividades [89]. Este modelo se usó luego para estudiar distintos escenarios con el mismo modelo de riesgo mencionado en el párrafo anterior.

Se encuentra disponible una implementación del modelo de Wells-Riley en forma de planilla de cálculo (usando estimaciones de los parámetros necesarios basadas en el conocimiento actual del virus), la cual permite estimar el riesgo en ambientes interiores modificando diversos factores [90]. Este modelo fue luego adaptado como una aplicación web, donde además se muestra la variabilidad del riesgo si los parámetros ingresados (cantidad de personas, tiempo de exposición, eficiencia de ventilación, etc.) tienen un rango de valores posibles [91].

Otra aplicación web disponible [92] usa un modelo de riesgo en base a una curva dosis-respuesta. Estima la emisión de aerosoles en un rango de tamaños (1-4 μm), su deposición en distintas partes del sistema respiratorio en función del tamaño, y a continuación el volumen total de aerosoles inhalados se usa con una curva de dosis-respuesta basada en otro coronavirus humano. A pesar de las aproximaciones, el modelo ha dado buenos resultados para estimar los riesgos de brotes documentados.

Otra métrica ideada, compatible con el modelo de Wells-Riley, consiste en estimar qué fracción del volumen inhalado corresponde a aire exhalado por una persona infectada [93]. Para medir los aerosoles inhalados tanto por contacto cercano como los emitidos por personas más alejadas, y teniendo en cuenta las partículas que se pierden por distintos procesos, se calcula una equivalencia con un hipotético volumen exhalado por una persona infectada, que es proporcional a la dosis de virus inhalada. Se analizan tres tamaños de partícula (1 μm , 10 μm y 100 μm) para dar cuenta de los distintos procesos que sufren, dependiendo de su tamaño. Para situaciones en interior, el trabajo estudia la tasa de “re-respiración” (L/min) en función del efecto del tiempo de estadía, ya que, en espacios interiores, las partículas más pequeñas se van acumulando en el aire. En situaciones de

exterior, se analiza principalmente la distancia entre las personas, debido que una mejor ventilación impide la acumulación de aerosoles. Muestra que el riesgo en exterior se reduce apreciablemente a distancias mayores a 2 m, pero que, sin embargo, en habitaciones pequeñas, aun manteniendo distancia, el riesgo puede ser mayor, sobre todo si supera los 10-20 minutos de permanencia en la habitación. Por otro lado, dicho modelo muestra que la ventilación tiene un efecto importante en las partículas de 1 μm , algo menor en las de 10 μm , y prácticamente nulo en las 100 μm , que se pierden por deposición antes de poder ser filtradas. Las partículas de 100 μm presentan un riesgo muy bajo si se mantiene el distanciamiento (por su mayor velocidad de deposición). El efecto de los purificadores de aire depende de la calidad del filtro: filtros modestos pueden reducir la exposición a partículas de 10 μm , pero para las de 1 μm hacen falta filtros de mayor calidad. Se explora también el efecto del uso de barbijos y la reducción de la ocupación de los ambientes. La Figura 6.6.1 muestra el impacto cuantitativo de algunas de las medidas para dos situaciones (edificio residencial y comercial). El estudio enfatiza que la relevancia de cada tamaño de partícula depende del contenido viral en las mismas (ver Sección 3). A la inversa, el estudio de eventos epidemiológicos documentados puede ayudar a entender qué tamaño de partículas son más relevantes para la transmisión de un patógeno, a la luz de estos resultados. Por otro lado, resaltan que el efecto de las medidas depende de la curva dosis-respuesta del patógeno: en situaciones con mucha exposición, la reducción lograda con algunas de las medidas puede ser insuficiente para evitar la infección. De todos modos, algunos estudios indican que igualmente reducir la dosis podría reducir la severidad de la infección ([44] y referencias contenidas allí).

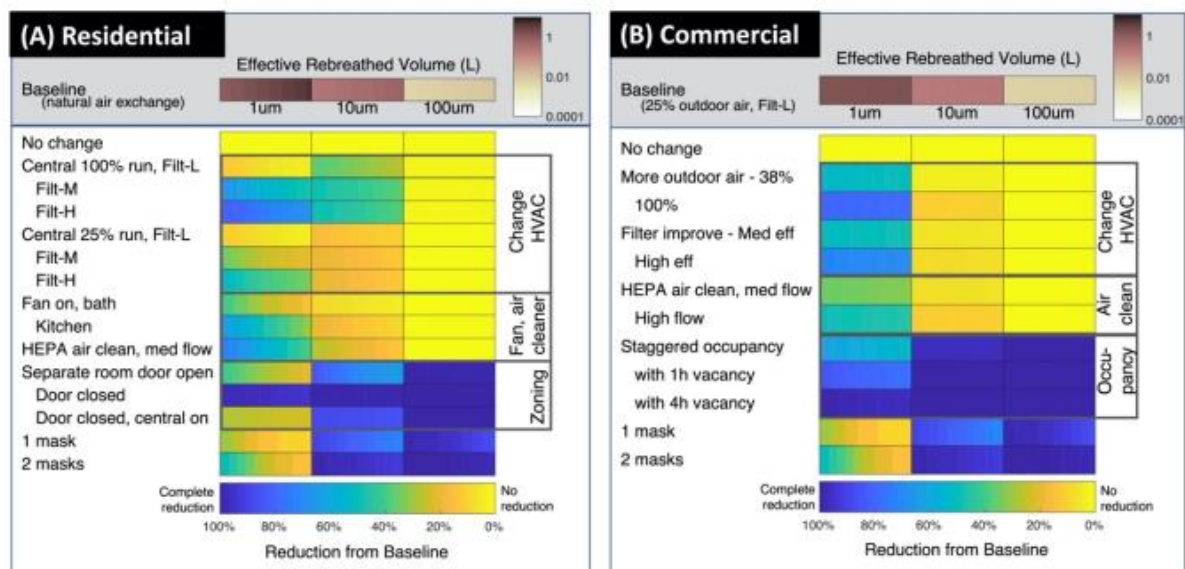
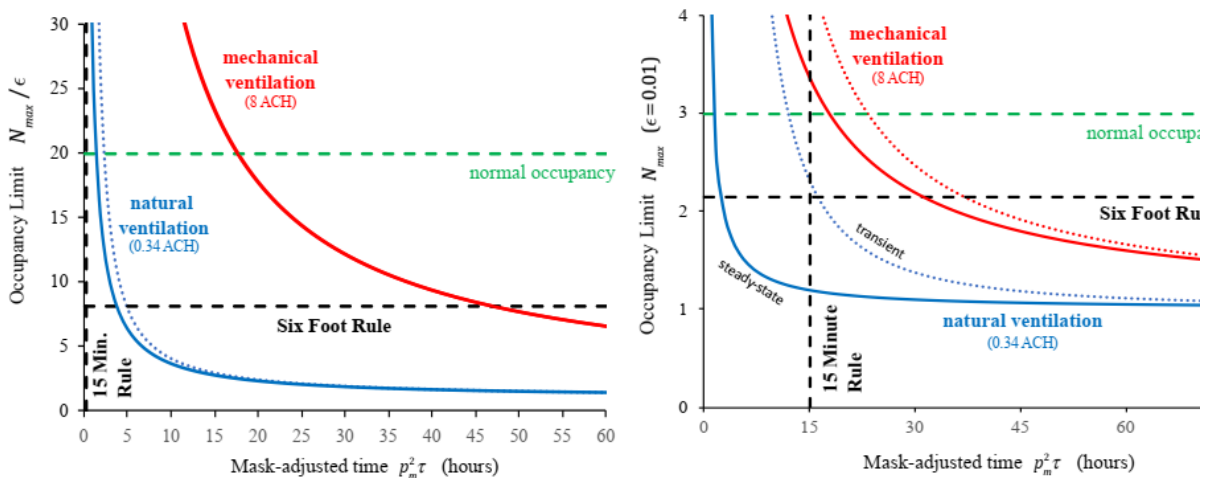


Figura 6.6.1. Adaptada de [93]. Reducción de la inhalación de partículas de 1 μm , 10 μm o 100 μm ante distintas medidas de mitigación, en un edificio residencial (A) y uno comercial (B), para una interacción de 4 horas de duración. Las dos situaciones tienen similar superficie. En el edificio residencial se parte de una ventilación natural y se estudia el efecto de ventilación central (100% o 25% del tiempo) con filtros de distinta eficiencia (*Low, Medium, High*), el uso de extractores de aire para mejorar el flujo de aire, o el uso de filtros de aire portátiles (HEPA). También la “zonificación” del uso de las habitaciones. Para el edificio comercial, se parte del uso de ventilación central al 25% con un filtro de baja eficiencia, y se evalúan las mejoras en su uso, incorporando más porcentaje de aire exterior (38%, 100%) o filtros de mejor eficiencia. También se ve el efecto de filtros HEPA portátiles y de una ocupación alternada de los espacios (por turnos, y dejando además 1 hora o 4 horas vacío el espacio antes de volver a usarlo). En ambos casos se estudia también el efecto del uso de barbijos.

Algunas medidas son muy útiles para las partículas más grandes (por ejemplo, usar barbijo o reducir la ocupación de las habitaciones) pero menos útiles para las más pequeñas, y a la inversa, otras

medidas sólo aportan diferencias significativas para las partículas más pequeñas (ventilación mecánica, filtrado del aire).

Otro trabajo, también basado en modificaciones del modelo de Wells-Riley y en estimaciones de la contagiosidad del virus en base a eventos de supercontagios, se centra en estimar tiempos de exposición tolerables para evitar contagios, o la ocupación máxima para una habitación, dado el tiempo de exposición [94]. Propone cómo tener en cuenta las distintas tasas de riesgo según la edad (u otras distinciones de poblaciones con distinto grado de susceptibilidad). También muestran una estimación de los contagios posibles a corta distancia si no se usa barbijo, usando un modelo de transporte por turbulencia en el aire exhalado. En la Figura 6.6.2 se muestran dos ejemplos de interés: una clase universitaria y un asilo de ancianos. Las curvas muestran cómo varía el tiempo de exposición permitido en función de la ocupación de los ambientes: cuanto mayor es la ocupación, se permite menos tiempo de exposición para evitar la infección. El eje horizontal, expresado en horas, contempla una reducción de riesgos si todos los presentes usan barbijos. Si la eficiencia promedio del barbijo es p_m , el riesgo se reduce en p_m^2 , es decir el tiempo de exposición puede aumentar ese factor. En ambos ejemplos se muestran rectas verticales que muestran cuándo la regla de los 15 minutos para identificar contactos estrechos deja de tener validez, y rectas horizontales cuándo el distanciamiento de 2 m (6 pies) deja de ser suficiente. Se ve con claridad que la ventilación mecánica mejora siempre la situación respecto de la ventilación natural (curvas azules y rojas). El trabajo incluye una planilla de cálculo para estimar riesgos en habitaciones de otra geometría, con instrucciones precisas sobre su uso y sus aproximaciones.



(a) Aula escolar

(b) Residencia para adultos mayores (geriátrico)

Figura 6.6.2. Adaptada de [94]. Relación entre ocupación máxima y tiempo de exposición. Se dejaron fijos otros parámetros como el volumen de la habitación, la ventilación, la tasa de emisión de aerosoles. Las situaciones son (a) una clase de Universidad y (b) una residencia para adultos mayores (geriátrico). En el caso del geriátrico, se toma una tolerancia de riesgo menor, debido a la susceptibilidad de la población. Se muestra con una línea horizontal punteada la regla de 2 m de distanciamiento, y con una línea vertical punteada, la definición usual de contacto estrecho basada en una interacción de 15 minutos. Se muestran resultados correspondientes a ventilación natural (líneas azules) y a ventilación mecánica (líneas rojas). Nótese que el eje de tiempo está escalado por un factor igual al cuadrado de la eficiencia de los barbijos usados.

Peng y colaboradores [95] exploraron una metodología práctica de medir el riesgo de contagio en espacios interiores (o espacios exteriores con ventilación limitada y aglomeraciones, como un evento en un estadio), usando mediciones de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) como indicador. La metodología explota el hecho de que al respirar emitimos CO_2 (al igual que aerosoles, potencialmente conteniendo el virus), y que la concentración de CO_2 crece a mayor ritmo de

respiración (por ejemplo, cuando hacemos ejercicio físico o cantamos), a mayor cantidad de personas, con peor ventilación, etc. Sin embargo, el valor de CO₂ requerido para cierto nivel de riesgo depende de varios parámetros (prevalencia de la enfermedad en la población, uso de máscaras, duración de la exposición, etc.), por lo que el valor debe elegirse en función de la actividad a realizar (ver por ejemplo la Fig. 2 de [95]). Por ejemplo, si una persona está parada en silencio (en un ambiente similar al de una clase universitaria), puede ser tolerable un exceso de CO₂ de 1000 ppm (por sobre la concentración de CO₂ en el exterior, típicamente 400 ppm), pero si se encuentra hablando en voz alta y haciendo ejercicio físico intenso, una diferencia de 10 ppm en el nivel de CO₂ es suficiente para alcanzar el mismo nivel de riesgo.

Todos estos modelos tienen una serie de aproximaciones e incertidumbres, en la forma de modelar pero también en parámetros respecto de emisión, estabilidad e infecciosidad del virus (que aún no se conocen con precisión suficiente para el SARS-CoV-2), por lo que no se pueden usar como indicadores absolutos, pero sí pueden ser usados para comparar el grado de riesgo de distintas actividades, como ayuda en el desarrollo y evaluación de protocolos para distintas actividades, o para generar campañas de difusión sobre los riesgos que asumen los ciudadanos/as/es frente a distintas situaciones. Se sugiere evaluar y validar estos modelos en conjunto con expertos de otras áreas (virología, epidemiología, ventilación, etc.) con información de eventos de supercontagios producidos en la región.

Bibliografía

- [1] N. R. Jones, Z. U. Qureshi, R. J. Temple, J. P. J. Larwood, T. Greenhalgh, and L. Bourouiba, “Two metres or one: what is the evidence for physical distancing in covid-19?,” *BMJ*, vol. 370, p. 3223, Aug. 2020.
- [2] OMS, “Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19),” 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>. [Accessed: 24-Oct-2020].
- [3] CDC - Centers for Disease Control and Prevention, “How COVID-19 Spreads,” 2020. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html>. [Accessed: 05-Oct-2020].
- [4] M. U. Mondelli, M. Colaneri, E. M. Seminari, F. Baldanti, and R. Bruno, “Low risk of SARS-CoV-2 transmission by fomites in real-life conditions,” *Lancet Infect. Dis.*, vol. 0, no. 0, 2020.
- [5] L. Morawska and D. K. Milton, “It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19.,” *Clin. Infect. Dis.*, pp. 1–12, 2020.
- [6] K. A. Prather, C. C. Wang, and R. T. Schooley, “Reducing transmission of SARS-CoV-2,” *Science (80-.)*, vol. 368, no. 6498, pp. 1422–1424, 2020.
- [7] S. Tang *et al.*, “Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control,” *Environ. Int.*, vol. 144, Nov. 2020.
- [8] K. P. Fennelly, “Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control,” *Lancet Respir. Med.*, vol. 8, no. 9, pp. 914–924, Sep. 2020.
- [9] J. L. Jimenez, “Why Arguments Against SARS-CoV-2 Aerosol Transmission Don’t Hold Water,” *Medscape*, 2020.
- [10] Y. Furuse *et al.*, “Clusters of Coronavirus Disease in Communities, Japan, January–April 2020,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 9, pp. 2176–2179, Sep. 2020.
- [11] K. Connolly, “Germans embrace fresh air to ward off coronavirus,” *The Guardian*, 2020.
- [12] Scientific Advisory Group for Emergencies, “Role of Ventilation in Controlling SARS-CoV-2 Transmission,” 2020.
- [13] Consejo Interterritorial - Sistema Nacional de Salud, “Actuaciones de respuesta coordinada para el control de la transmisión de COVID-19,” 2020.
- [14] M. de T. Argentina, “Recomendaciones en el transporte público y automotor de pasajeros y en terminales,” p. 13, 2020.
- [15] Consejo Federal de Turismo, Cámara Argentina de Turismo, Instituto de la Calidad Turística Argentina, and Ministerio de Turismo y Deportes Argentina, “Establecimientos gastronómicos,” 2020.
- [16] Agencia Gubernamental de Control de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, “Recomendaciones para tu comercio,” 2020. [Online]. Available: <https://www.buenosaires.gob.ar/justiciayseguridad/agencia-gubernamental-de-control/noticias/recomendaciones-para-tu-comercio>.
- [17] M. de T. Argentina, “Recomendaciones para prevenir la transmisión del coronavirus en ámbitos con circulación de personas.” [Online]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/coronavirus/atencion-publico#5>.
- [18] A. E. Cha, “‘Superspreading’ events, triggered by people who may not even know they are infected, propel coronavirus pandemic,” *The Washington Post*, 2020.

- [19] M. Richard *et al.*, “SARS-CoV-2 is transmitted via contact and via the air between ferrets,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, Dec. 2020.
- [20] S. F. Sia *et al.*, “Pathogenesis and transmission of SARS-CoV-2 in golden hamsters,” *Nature*, vol. 583, no. 7818, pp. 834–838, Jul. 2020.
- [21] D. C. Adam *et al.*, “Clustering and superspreading potential of severe acute respiratory syndrome 1 coronavirus 2 (SARS-CoV-2) infections in Hong Kong,” May 2020.
- [22] R. Laxminarayan *et al.*, “Epidemiology and transmission dynamics of COVID-19 in two Indian states,” *Science (80-.)*, 2020.
- [23] S. Y. Park *et al.*, “Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 8, pp. 1666–1670, Aug. 2020.
- [24] S. L. Miller *et al.*, “Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event,” *Indoor Air*, no. September, p. ina.12751, Sep. 2020.
- [25] D. Yusef *et al.*, “Large Outbreak of Coronavirus Disease among Wedding Attendees, Jordan,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 9, pp. 2165–2167, Sep. 2020.
- [26] Y. Shen *et al.*, “Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among Bus Riders in Eastern China.,” *JAMA Intern. Med.*, Sep. 2020.
- [27] T. Guenther *et al.*, “Investigation of a superspreading event preceding the largest meat processing plant-related SARS-Coronavirus 2 outbreak in Germany,” *SSRN Electron. J.*, 2020.
- [28] J. Lu *et al.*, “COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 7, pp. 1628–1631, 2020.
- [29] R. S. Papineni and F. S. Rosenthal, “The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects,” *J. Aerosol Med. Depos. Clear. Eff. Lung*, vol. 10, no. 2, pp. 105–116, 1997.
- [30] L. Morawska *et al.*, “Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 40, no. 3, pp. 256–269, 2009.
- [31] G. R. Johnson *et al.*, “Modality of human expired aerosol size distributions,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 42, no. 12, pp. 839–851, 2011.
- [32] M. Nicas, W. W. Nazaroff, and A. Hubbard, “Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens,” *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 2, no. 3, pp. 143–154, Mar. 2005.
- [33] Xie, Y. Li, A. T. Y. Chwang, P. L. Ho, and W. H. Seto, “How far droplets can move in indoor environments,” *Indoor Air*, vol. 17, pp. 211–2256, 2007.
- [34] J. Ma *et al.*, “Coronavirus Disease 2019 Patients in Earlier Stages Exhaled Millions of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Per Hour,” *Clin. Infect. Dis.*, p. ciaa1283, Aug. 2020.
- [35] Z.-D. Guo *et al.*, “Aerosol and Surface Distribution of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Hospital Wards, Wuhan, China, 2020,” *Emerg. Infect. Dis. J.*, vol. 26, no. 7, p. 1583, 2020.
- [36] K. Razzini *et al.*, “SARS-CoV-2 RNA detection in the air and on surfaces in the COVID-19 ward of a hospital in Milan, Italy,” *Sci. Total Environ.*, vol. 742, p. 140540, Nov. 2020.
- [37] P. Y. Chia *et al.*, “Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital

rooms of infected patients,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, Dec. 2020.

- [38] Y. Liu *et al.*, “Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals,” *Nature*, vol. 582, no. 7813, pp. 557–560, 2020.
- [39] V. C.-C. Cheng *et al.*, “Air and environmental sampling for SARS-CoV-2 around hospitalized patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19),” *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, pp. 1–8, Jun. 2020.
- [40] S. W. X. Ong *et al.*, “Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a Symptomatic Patient,” *JAMA - J. Am. Med. Assoc.*, vol. 323, no. 16, pp. 1610–1612, Apr. 2020.
- [41] M. Pan, J. A. Lednicky, and C. -Y. Wu, “Collection, particle sizing and detection of airborne viruses,” *J. Appl. Microbiol.*, vol. 127, no. 6, pp. 1596–1611, 2019.
- [42] J. L. Santarpia *et al.*, “Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [43] J. A. Lednicky *et al.*, “Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients,” *Int. J. Infect. Dis.*, vol. 0, no. 0, 2020.
- [44] National Academies of Sciences Engineering and Medicine, “Airborne Transmission of SARS-CoV-2: Proceedings of a Workshop in Brief,” 2020.
- [45] A. C. Fears *et al.*, “Persistence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Aerosol Suspensions,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 9, pp. 2168–2171, 2020.
- [46] N. van Doremalen *et al.*, “Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1,” *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 16, pp. 1564–1567, Apr. 2020.
- [47] S. Ratnesar-Shumate *et al.*, “Simulated Sunlight Rapidly Inactivates SARS-CoV-2 on Surfaces,” *The Journal of infectious diseases*, vol. 222, no. 2. NLM (Medline), pp. 214–222, 29-Jun-2020.
- [48] M. Schuit *et al.*, “Airborne SARS-CoV-2 Is Rapidly Inactivated by Simulated Sunlight,” *J. Infect. Dis.*, vol. 222, no. 4, pp. 564–571, Jul. 2020.
- [49] M. J. Matson *et al.*, “Effect of Environmental Conditions on SARS-CoV-2 Stability in Human Nasal Mucus and Sputum,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 9, Sep. 2020.
- [50] L. C. Marr, J. W. Tang, J. Van Mullekom, and S. S. Lakdawala, “Mechanistic insights into the effect of humidity on airborne influenza virus survival, transmission and incidence,” *J. R. Soc. Interface*, vol. 16, no. 150, p. 20180298, Jan. 2019.
- [51] D. H. Morris *et al.*, “The effect of temperature and humidity on the stability of SARS-CoV-2 and other enveloped viruses,” *bioRxiv*, 2020.
- [52] WHO, “Getting your workplace ready for COVID-19,” *World Heal. Organ.*, no. March, pp. 1–8, 2020.
- [53] WHO, “Advice on the use of masks for children in the community in the context of COVID-19,” *Annex to Advice use masks Context COVID-19*, 2020.
- [54] A. C. K. Lai, C. K. M. Poon, and A. C. T. Cheung, “Effectiveness of facemasks to reduce exposure hazards for airborne infections among general populations,” *J. R. Soc. Interface*, vol. 9, no. 70, pp. 938–948, 2012.
- [55] W. G. Lindsley, J. D. Noti, F. M. Blachere, J. V. Szalajda, and D. H. Beezhold, “Efficacy of Face Shields Against Cough Aerosol Droplets from a Cough Simulator,” *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 11, no. 8, pp. 509–518, Aug. 2014.

- [56] E. Fischer, M. Fischer, D. Grass, I. Henrion, W. Warren, and E. Westman, “Low-cost measurement of facemask efficacy for filtering expelled droplets during speech,” *Sci. Adv.*, vol. 3083, no. September, pp. 1–11, 2020.
- [57] N. H. L. Leung *et al.*, “Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks,” *Nat. Med.*, vol. 26, no. 5, pp. 676–680, 2020.
- [58] S. Asadi, C. D. Cappa, S. Barreda, A. S. Wexler, N. M. Bouvier, and W. D. Ristenpart, “Efficacy of masks and face coverings in controlling outward aerosol particle emission from expiratory activities,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, p. 15665, Dec. 2020.
- [59] A. Konda, A. Prakash, G. A. Moss, M. Schmoldt, G. D. Grant, and S. Guha, “Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks,” *ACS Nano*, vol. 14, no. 5, pp. 6339–6347, 2020.
- [60] S. Verma, M. Dhanak, and J. Frankenfield, “Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets,” *Phys. Fluids*, vol. 32, no. 6, p. 061708, Jun. 2020.
- [61] S. Verma, M. Dhanak, and J. Frankenfield, “Visualizing droplet dispersal for face shields and masks with exhalation valves,” *Phys. Fluids*, vol. 32, no. 9, p. 091701, Sep. 2020.
- [62] R. K. Bhagat, M. S. Davies Wykes, S. B. Dalziel, and P. F. Linden, “Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19,” *J. Fluid Mech.*, vol. 903, p. F1, Nov. 2020.
- [63] W. Chen, N. Zhang, J. Wei, H. L. Yen, and Y. Li, “Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact,” *Build. Environ.*, vol. 176, no. January, p. 106859, 2020.
- [64] OMS, “Preguntas y respuestas sobre la ventilacion y el aire acondicionado y la COVID-19,” 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/q-a-ventilation-and-air-conditioning-and-covid-19>. [Accessed: 10-Sep-2020].
- [65] OMS, “Preguntas y respuestas sobre la COVID-19 y la ventilacion y el aire acondicionado en espacios y edificios publicos,” 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/q-a-ventilation-and-air-conditioning-in-public-spaces-and-buildings-and-covid-19>. [Accessed: 10-Sep-2020].
- [66] L. Morawska *et al.*, “How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?,” *Environ. Int.*, vol. 142, no. April, 2020.
- [67] WHO, *Natural ventilation for infection control in health-care settings*. 2009.
- [68] WHO, “Infection prevention and control during health care when novel coronavirus (nCOV) infection is suspected,” *Oms*, vol. 38, no. 1, pp. 71–86, 2020.
- [69] ASHRAE, “GUIDANCE FOR THE RE-OPENING OF SCHOOLS,” p. 55, 2020.
- [70] GHIN, “Q&A: Do air conditioning and ventilation systems increase the risk of virus transmission? If so, how can this be managed?,” 2020. .
- [71] REHVA, “REHVA Covid19 HVAC Guidance,” *Eur. Univ. Inst.*, no. 2, pp. 2–5, 2020.
- [72] SHASE, “Enforce ventilation: In a room with windows, if possible, open the windows on opposite or different 1,” *Soc. Heating, Air-Conditioning Sanit. Eng. Japan*, pp. 1–6, 2020.
- [73] J. Allen, J. Spengler, E. Jones, and J. Cedeno-Laurent, “5-step guide to checking ventilation rates in classrooms 5 Step Guide to Measuring Ventilation Rates in Classrooms,” 2020.
- [74] A. S. 62.1-2019, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.” 2019.
- [75] A. S. 62.2-2019, “Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings.” 2019.
- [76] H. Lee and H. B. Awbi, “Effect of internal partitioning on indoor air quality of rooms with

mixing ventilation - Basic study,” *Build. Environ.*, vol. 39, no. 2, pp. 127–141, 2004.

- [77] X. Liu, X. Wu, L. Chen, and R. Zhou, “Effects of internal partitions on flow field and air contaminant distribution under different ventilation modes,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 11, p. 2603, Nov. 2018.
- [78] P. Francisco, “Recursos para una casa más saludable,” *SPHERE*, 2020. [Online]. Available: <http://humanenvironments.org/sphere/recursos/>. [Accessed: 17-Nov-2020].
- [79] B. Resnick, “Can air purifiers help stop coronavirus spread indoors?,” *Vox*, 2020. [Online]. Available: <https://www.vox.com/platform/amp/science-and-health/2020/8/19/21364031/coronavirus-air-purifiers-filter-hepa-merv-ventilation?> [Accessed: 10-Sep-2020].
- [80] E. Jones *et al.*, “ESCUELAS SALUDABLES. Estrategias de reduccion de riesgos para la reapertura de las escuelas,” 2020.
- [81] S. Miller-Leiden, C. Lohascio, W. W. Nazaroff, and J. M. Macher, “Effectiveness of In-Room Air Filtration and Dilution Ventilation for Tuberculosis Infection Control,” *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 46, no. 9, pp. 869–882, Sep. 1996.
- [82] S. Kirkman, J. Zhai, and S. L. Miller, “Respiratory Droplets: Recommendations for Air Cleaner Selection for Campus Spaces,” 2020.
- [83] B. Elias and Y. Bar-Yam, “Could Air Filtration Reduce COVID-19 Severity and Spread?,” 2020.
- [84] E. S. Mousavi, N. Kananizadeh, R. A. Martinello, and J. D. Sherman, “COVID-19 Outbreak and Hospital Air Quality: A Systematic Review of Evidence on Air Filtration and Recirculation,” *Environ. Sci. Technol.*, Sep. 2020.
- [85] Y. Yang, H. Zhang, S. S. Nunayon, V. Chan, and A. C. Lai, “Disinfection efficacy of ultraviolet germicidal irradiation on airborne bacteria in ventilation ducts,” *Indoor Air*, vol. 28, no. 6, pp. 806–817, Nov. 2018.
- [86] A. E. Torres *et al.*, “Ultraviolet-C and other methods of decontamination of filtering facepiece N-95 respirators during the COVID-19 pandemic,” *Photochemical and Photobiological Sciences*, vol. 19, no. 6. Royal Society of Chemistry, pp. 746–751, 01-Jun-2020.
- [87] I. H. Hamzavi *et al.*, “Ultraviolet germicidal irradiation: Possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during the COVID-19 pandemic,” *J. Am. Acad. Dermatol.*, vol. 82, no. 6, pp. 1511–1512, Jun. 2020.
- [88] S. Simmons *et al.*, “Deactivation of SARS-CoV-2 with Pulsed Xenon Ultraviolet: Implications for environmental COVID-19 control,” *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, pp. 1–4, 2020.
- [89] G. Buonanno, L. Stabile, and L. Morawska, “Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment,” *Environ. Int.*, vol. 141, no. April, p. 105794, 2020.
- [90] J. L. Jimenez, “COVID-19 Airborne Transmission Tool Available,” 2020. [Online]. Available: <https://cires.colorado.edu/news/covid-19-airborne-transmission-tool-available>. [Accessed: 10-Sep-2020].
- [91] L. Rocha-Melogno, K. Crank, K. Bibby, G. C. Gray, and M. A. Deshusses, “COVID-19 Risk of Aerosol Transmission Indoors,” 2020. [Online]. Available: https://rapidqmra.shinyapps.io/Rapid_QMRA/. [Accessed: 30-Sep-2020].
- [92] R. Corsi, K. Van Den Wymelenberg, H. Parhizkar, and C. Haas, “The SAFEAIRSPACES

COVID-19 Aerosol Relative Risk Estimator,” 2020. [Online]. Available: <https://safeairspaces.com/>. [Accessed: 30-Sep-2020].

- [93] T. C. Bond *et al.*, “Quantifying proximity, confinement, and interventions in disease outbreaks: a decision support framework for air-transported pathogens,” *medRxiv*, p. 2020.09.09.20187625, Sep. 2020.
- [94] M. Z. Bazant and J. W. M. Bush, “Beyond Six Feet: A Guideline to Limit Indoor Airborne Transmission of COVID-19,” *medRxiv*, p. 2020.08.26.20182824, Sep. 2020.
- [95] Z. Peng and J. L. Jimenez, “Exhaled CO₂ as COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities,” *medRxiv*, p. 2020.09.09.20191676, Sep. 2020.

Apéndice. SARS-CoV-2 y material particulado atmosférico (PM) regional

La contaminación por aerosoles de fuentes regionales (polvo, humo, cenizas volcánicas) impacta en áreas en todo el mundo (Anil et al., 2019; Shairsingh et al., 2019; Méndez-Espinosa et al, 2020). En Argentina son muy frecuentes las tormentas de polvo al sur de la Provincia de Buenos Aires y al oeste de Río Negro y, en el norte y centro de la Argentina, el humo proveniente de Tucumán, Córdoba y el Delta del Paraná. Algunos estudios sugieren que las altas concentraciones de PM transportado por el viento, con condiciones atmosféricas favorables (patrones de viento y temperaturas leves), podrían favorecer el contagio del coronavirus, aunque no hay certezas en este sentido. Se han realizado muy pocos estudios para determinar la cantidad y los tipos de microorganismos transportados dentro de estas nubes de polvo y los problemas que pueden desempeñar en la salud humana. Existe la posibilidad de que el polvo y la contaminación del aire irriten las fosas nasales y faciliten la infección viral. (Wickramasinghe et al, 2020; Coşkun et al, 2020; Griffith et al. 2020; Comunian et al, 2020). Un trabajo reciente detectó la presencia de ARN de SARS-CoV-2 en material particulado atmosférico (PM10) al aire libre, en la zona industrial de la ciudad de Bergamo, Italia (Setti et al., 2020). Si bien no se pudo estudiar su capacidad infecciosa (en parte, por la colección en filtros de fibra de cuarzo, que no es la forma más adecuada para preservar la viabilidad del virus, ver Sección 4), los autores no descartan que la observada combinación de aerosoles respiratorios con PM pueda contribuir a aumentar su tiempo de residencia en la atmósfera y eventualmente contribuir a producir infecciones o a generar inmunidad.

Lo que sí advierten con más certeza los científicos es que estos eventos pueden agravar los síntomas del COVID-19 exacerbando los problemas respiratorios asociados (Fallahian, F., 2019, Gross et al, 2018, entre otros). Además, puede tener efectos irritantes incluso en las personas sanas y normales. Es entonces recomendable tomar precauciones para evitar la inhalación del polvo porque los síntomas pueden parecerse al coronavirus. Se recomiendan máscaras y filtros de aire, además de evitar las actividades en exteriores los días con este tipo de eventos. Para una protección efectiva, recomiendan usar lentes protectores, mascarilla, lavarse las manos, no tocarse los ojos con las manos y utilizar ropa cubierta. También sugieren a la población cubrir los alimentos y el agua que almacena para evitar la contaminación.

Bibliografía

Anil, I., Alagha, O., Blaisi, N.I., Mohamed, I.A., Barghouthi, M.H. and Manzar, M.S. (2019). Source Identification of Episodic Rain Pollutants by New Approach: Combining Satellite Observations and Backward Air Mass Trajectories. *Aerosol Air Qual. Res.* 19: 2827-2843. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.04.0187>

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;17(12):4487. Published 2020 Jun 22. doi:10.3390/ijerph17124487 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7345938/>

Coşkun, H., Yıldırım, N., Gündüz, S.. 2020. The spread of COVID-19. virus through population density and wind in Turkey cities, *Science of the Total Environment* 751 (2021) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720351925>

Fallahian, F., 2019. Respiratory effects of long-term exposure to dust outbreaks. *Global Research Journal of Public Health and Epidemiology*: ISSN-2360-7920: Vol. 6(11): pp, 205-221. <http://www.springjournals.net/full-articles/httpspringjournals.netgrjpharticlesindex=5fallahian.pdf?view=inline>

Gross, Jane E; Carlos, W Graham; Dela Cruz, Charles S; Harber, Philip; Jamil, Shazia. 2018. Sand and Dust Storms: Acute Exposure and Threats to Respiratory Health. *Am J Respir Crit Care Med* ; 198(7): P13-P14, 2018 10 01. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/mdl-30272504>

Griffith, S.M., Huang, W-S., Lin, C-C., Chenb, Y-C., Change, K-E., Lin, T-H., Wang, S-H., Lin, N-H. 2020. Long-range air pollution transport in East Asia during the first week of the COVID-19 lockdown in China. *Science of the Total Environment* 741 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720337359?via%3Dihub>

Mendez-Espinosa JF, Rojas NY, Vargas J, Pachón JE, Belalcazar LC, Ramírez O. 2020. Air quality variations in Northern South America during the COVID-19 lockdown. *Sci Total Environ.* 2020; 749:141621. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141621 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7418784/>

Setti, Leonardo, Fabrizio Passarini, Gianluigi De Gennaro, Pierluigi Barbieri, Maria Grazia Perrone, Massimo Borelli, Jolanda Palmisani, et al. 2020. SARS-Cov-2RNA Found on Particulate Matter of Bergamo in Northern Italy: First Evidence. *Environmental Research* 188 (September): 109754. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109754>.

Shairsingh KK, Jeong CH, Evans GJ. Transboundary and traffic influences on air pollution across two Caribbean islands. *The Science of the Total Environment.* 2019 Feb;653:1105-1110. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.034. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971834381X?via%3Dihub>

Wickramasinghe, NC, Wallis, M.K., Coulson, S. G., Kondakov, A., Steele, E.J., Gorczynski RM, Temple, R., Tokoro, G., Klyce, B., and Slijepcevic, P., 2020. "Intercontinental Spread of COVID-19 on Global Wind Systems." *Virology Current Research* (2020) 4:1. <https://www.hilarispublisher.com/open-access/intercontinental-spread-of-covid19-on-global-wind-systems.pdf>