

15 julio 2022

ARTÍCULO DE REVISTA SELECCIÓN DEL EDITOR

# Las máscaras N95 con prueba de ajuste combinadas con la filtración portátil de aire de partículas de alta eficiencia pueden proteger contra altas cargas virales en aerosol durante períodos prolongados a corta distancia

[Shane Landry](#), [Dinesh Subedi](#), [Jeremy J. Barr](#), [Martín I MacDonald](#), [Samanta Dix](#), [Donna M. Kutey](#), [Darren Mansfield](#), [garun s hamilton](#), [bradley a edwards](#), [Simón A Joosten](#)

*The Journal of Infectious Diseases*, volumen 226, número 2, 15 de julio de 2022, páginas 199–207, <https://doi.org/10.1093/infdis/jiac195>

**Publicado:**

10 mayo 2022

**Historial del artículo**

## Resumen

### Fondo

Los trabajadores de la salud (HCW) están en riesgo de transmisión por aerosol del síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2. Los objetivos de este estudio fueron (1) cuantificar la protección brindada por las mascarillas (quirúrgica, prueba de ajuste FALLIDA N95, prueba de ajuste PASADA N95) y equipo de protección personal (PPE), y (2) determinar si un filtro portátil de partículas de aire de alta eficiencia (HEPA) puede mejorar el beneficio del PPE.

### Métodos

Se realizaron experimentos de exposición a aerosoles de virus utilizando el bacteriófago PhiX174. Un trabajador de la salud que usaba EPP (máscara, guantes, bata, protector facial) estuvo expuesto a virus nebulizados ( $10^8$  copias/mL) durante 40 minutos en una sala clínica sellada. La exposición al virus se cuantificó mediante hisopos de piel aplicados en la cara, las fosas nasales, los antebrazos, el cuello y la frente. Los experimentos se repitieron con un filtro HEPA (13,4 volúmenes-filtraciones/hora).

### Resultados

Se detectaron recuentos significativos de virus en la cara mientras los participantes usaban máscaras quirúrgicas o N95. Solo la prueba de ajuste APROBADA N95 resultó en recuentos de virus más bajos en comparación con el control ( $P = 0,007$ ). Los hisopos nasales demostraron una alta exposición al virus, que no se mitigó con las mascarillas N95 quirúrgicas/prueba de ajuste FALLIDA, aunque hubo una tendencia a que la mascarilla N95 PASÓ la prueba de ajuste redujera los recuentos de virus ( $p = 0,058$ ). La filtración HEPA redujo el virus a niveles cercanos a cero cuando se combinó con la máscara, los guantes, la bata y el protector facial APROBADOS en la prueba de ajuste.

## Conclusiones

Las máscaras N95 que han pasado una prueba de ajuste cuantitativa combinada con la filtración HEPA protegen contra altas cargas de aerosoles de virus a corta distancia y durante períodos prolongados.

[aerosoles](#), equipo de [protección personal](#), [ventilación](#), [filtración de aire](#)

## Sección de problemas:

[COVID-2019](#)

**(Consulte el Comentario editorial de Klompas y Rhee en las páginas 191–4.)**

Los aerosoles cargados de virus pueden permanecer suspendidos en el aire durante períodos prolongados y viajar grandes distancias sin dejar de ser infecciosos [ [1](#), [2](#) ]. La evidencia epidemiológica de brotes previos de síndrome respiratorio agudo severo destaca la importancia de la transmisión por aerosol [ [3](#), [4](#) ]. Se demostró que el riesgo de infección nosocomial es mayor en el contexto de "procedimientos que generan aerosoles" [ [5](#) ], que informó recomendaciones mejoradas de protección respiratoria para trabajadores de la salud (HCW) que atienden a pacientes con la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) que se someten a dichos procedimientos. Sin embargo, un trabajo reciente ha demostrado que los trabajadores de la salud que atienden a pacientes que no reciben procedimientos que generan aerosoles contrajeron COVID-19 a pesar del uso de máscaras quirúrgicas y equipo de protección personal (EPP) [ [6–8](#) ]. Estudios posteriores demostraron que los aerosoles cargados con el síndrome respiratorio agudo severo infeccioso coronavirus 2 (SARS-CoV-2) están presentes en las habitaciones de los pacientes con COVID-19 en ausencia de procedimientos de generación de aerosoles [ [9](#) ], probablemente porque los aerosoles son autogenerados por los pacientes con COVID-19 cuando tosen, hablan y respiran.

Estos hallazgos llevaron a los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) a recomendar que los trabajadores de la salud usen un N95 (o un respirador de nivel superior) y optimicen la calidad del aire interior, incluida la implementación de filtros portátiles de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) cuando sean permanentes. Los sistemas de tratamiento de aire no se pueden mejorar de forma viable [ 10 ]. Es importante destacar que existe evidencia de que cada medida por sí sola (protección personal mejorada y protección ambiental mejorada) puede ser inadecuada. Por ejemplo, los estudios previos a la COVID-19 demostraron que las infecciones respiratorias todavía ocurren en el contexto de los respiradores N95 [ 11 ] y N95 con prueba de ajuste [ 12 ]. Además, una revisión Cochrane mostró incertidumbre sobre cualquier beneficio de las máscaras N95 sobre las máscaras quirúrgicas en la protección contra enfermedades respiratorias [13]. Con respecto a la protección ambiental, el COVID-19 aún puede transmitirse en entornos al aire libre (es decir, ventilados de manera óptima) [ 14 ] y el SARS-CoV-2 en el aire aún puede detectarse en salas de aislamiento con presión negativa ( $\geq 12$  intercambios de aire/hora) [ 15 ].

Nuestro objetivo fue examinar 2 preguntas mecánicas con respecto a la efectividad del EPP personal y la filtración de aire para proteger a los trabajadores de la salud contra el aerosol de virus: primero, cuantificar el grado de contaminación personal con el aerosol de virus cuando se usan diferentes tipos de máscaras (quirúrgicas, prueba de ajuste FALLIDA N95), y una máscara N95 APROBADA en la prueba de ajuste) en combinación con protector facial, bata y guantes desechables; y segundo, determinar si el uso de un filtro HEPA portátil mejora el beneficio del PPE para proteger al usuario contra la contaminación por aerosoles de virus.

## MÉTODOS

---

### Propagación y titulación del bacteriófago PhiX174

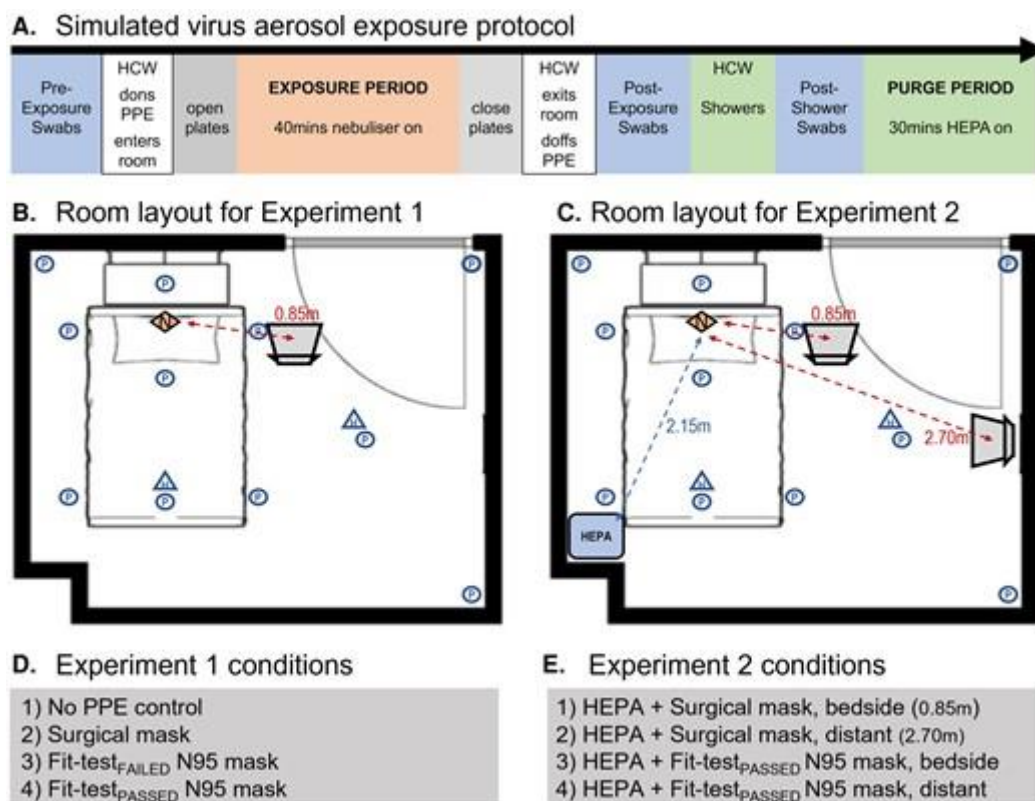
Se usó el bacteriófago PhiX174 como un virus modelo no peligroso en todos los experimentos. PhiX174 se propagó utilizando el huésped bacteriano *Escherichia coli* C (ATCC 13706) en caldo de lisogenia. El bacteriófago se purificó de acuerdo con el protocolo Phage-on-Tap [ 16 ]. Se obtuvo un título de  $1-5 \times 10^9$  unidades formadoras de placa

(PFU)/mL y se diluyó en solución salina tamponada con fosfato 1 × (PBS; Omnipur, Gibbstown, Nueva Jersey). El título de bacteriófagos se determinó utilizando el método de superposición de agar blando estándar. Se aerosolizó un lisado de bacteriófago de 10 ml (10<sup>8</sup> UFP/ml, un total de 10<sup>9</sup> UFP) (a través de un nebulizador) en todos los experimentos. La elección del título se determinó mediante experimentos piloto de sensibilidad [17, 18] con el objetivo de detectar un fuerte positivo en nuestra condición de control (sin EPI, sin ventilación/filtración) a partir del cual se puedan evaluar las reducciones relativas.

## Exposición a aerosoles de virus simulados

Un nebulizador (PARI Respiratory Equipment), colocado en la cabecera de la cama, aerosolizó el lisado de bacteriófagos dentro de una sala clínica simulada (dimensiones: 4,0 × 3,25 × 2,7 m, volumen = 35,1 m<sup>3</sup>; [Figura 1](#)). El nebulizador Pari-PEP produce una distribución de aerosol con un tamaño de partícula estrecho (3,42 ± 0,15 μm) [19]. Sin embargo, para confirmar el tamaño de partícula generado por el nebulizador, registramos la concentración de masa de partículas con un sensor PurpleAir PA-II-SD (PurpleAir Inc) como referencia ([Figura complementaria 1](#))

Figura 1.



Protocolos experimentales. A Los experimentos experimentales de exposición al virus se realizaron con el mismo protocolo cronometrado. Se recogieron hisopos nasales y de la piel antes de la exposición antes de que el HCW se pusiera el equipo de protección personal (PPE) y entrara en la sala clínica. Se abrieron las placas de asentamiento y el HCW se sentó en la posición designada. El nebulizador que contenía el lisado de bacteriófagos se encendió de forma remota durante 45 minutos (período de exposición), después de lo cual se cerraron las placas de sedimentación y el HCW salió de la habitación y se quitó el EPP. Se recogieron hisopos posteriores a la exposición. Luego, el HCW se duchó y se recogieron más muestras después de la ducha. Se hizo funcionar un filtro HEPA durante 30 minutos después del período de exposición para purgar la habitación del aerosol de virus. Las placas de control se desplegaron durante 10 minutos para garantizar que no se asentara más el virus. Este protocolo se repitió luego con una condición experimental diferente. B, Todos los experimentos se realizaron en una sala clínica de dimensiones  $4,0 \times 3,25 \times 2,7$  m (volumen =  $35,1 \text{ m}^3$ ) que contenía una cama y 1 silla. Once placas de sedimentación (círculos) se colocaron de forma idéntica entre ambos experimentos. Se colgaron dos placas colgantes (triángulos) a la altura de la cabeza perpendiculares al suelo. El nebulizador (diamante) se colocó en la cabecera de la cama, con el punto de salida en posición vertical. En el experimento 1, el trabajador de la salud (HCW) estaba sentado al lado de la cama, a 0,85 m de la fuente de aerosol para todas las condiciones. C, Para el experimento 2, el filtro de partículas de aire de alta eficiencia (HEPA) se colocó en el pie y en el lado opuesto de la cama al HCW, a 2,15 m del nebulizador. El HCW se colocó en la misma posición al lado del experimento 1 (0,85 m) o en una ubicación distante (2,70 m) del nebulizador. D, el Experimento 1 probó 4 condiciones de máscara: control sin EPP, máscara quirúrgica, máscara N95 con prueba de ajuste FALLIDA y máscara N95 con prueba de ajuste APROBADA. En cada condición de máscara, los participantes también usaron guantes, bata y protector facial. Las 4 condiciones experimentales se completaron en un solo día en un orden aleatorio. Los experimentos/condiciones replicados se completaron en los días posteriores. mi, el Experimento 2 probó 4 condiciones de máscara/distancia: máscara quirúrgica al lado de la cama, máscara quirúrgica en una posición distante, prueba de ajuste PASÓ N95 al lado de la cama y prueba de ajuste PASÓ N95 en posición distanciada. Para este experimento, el filtro HEPA se hizo funcionar en el ajuste más alto ( $470 \text{ m}^3/\text{hora}$ ) durante todo el período de exposición.

Un HCW que usaba EPP permaneció sentado en la habitación durante la nebulización (aproximadamente 40 minutos), en 1 de 2 ubicaciones ( [Figura 1](#) ). La ubicación “al lado de la cama” se ubicó a 0,85 m del nebulizador, mientras que la ubicación “distante” fue a 2,70 m.

Después de salir de la habitación, el HCW se quitó el EPP de acuerdo con un protocolo estandarizado (ver [métodos complementarios](#) ). Los hisopos nasales/cutáneos cuantificaron la contaminación de HCW por virus que se infiltran en el EPP durante el período de exposición. Las muestras de hisopo fueron recolectadas por un solo experimentador (SAL). Los hisopos se sumergieron en 3 ml de PBS 1x en un tubo de ensayo y se aplicaron individualmente en 5 áreas: antebrazos, cuello, frente, boca/nariz debajo de la máscara y fosas nasales (giradas 360° 1–2 cm dentro del vestíbulo nasal) ( [Figura complementaria 2](#) ). Luego, los hisopos se volvieron a sumergir en PBS y se sellaron dentro del tubo de ensayo. A continuación, se recogió y cuantificó 1 ml de PBS (con un hisopo sumergido) utilizando una capa de agar blando estándar. Luego, el HCW se duchó y realizó un enjuague nasal con solución salina ( [Tabla complementaria 1](#) ). Luego se repitieron los hisopos de piel después de la ducha.

Se usaron placas de sedimentación para cuantificar la contaminación ambiental del aerosol de virus [ [20](#) , [21](#) ] Trece placas de sedimentación se colocaron descubiertas durante cada nebulización ( [Figura 1](#) ). Posteriormente, las placas se sellaron y se incubaron durante la noche a 37 °C, y las placas virales se enumeraron al día siguiente. La cuantificación de PFU fue realizada por un solo investigador ciego a las condiciones experimentales (DS).

Dado que esta investigación no involucró a participantes humanos ni animales (los trabajadores sanitarios eran investigadores), el comité de ética de investigación humana de la Universidad de Monash eximió este protocolo de la revisión ética.

## **Protocolos Experimentales**

*Experimento 1.* Para evaluar la eficacia del EPP para proteger contra la exposición a aerosoles de virus, el HCW se sentó al lado de la cama

durante la nebulización. Se utilizaron recuentos de virus de hisopos faciales/nasales para evaluar la eficacia de (1) mascarilla quirúrgica, (2) mascarilla N95 FALLIDA en la prueba de ajuste y (3) mascarilla N95 PASADA en la prueba de ajuste. En cada condición se usó bata, guantes y protector facial. Una condición sin EPP sirvió como control. Las 4 condiciones de máscara se probaron el mismo día en un orden aleatorio utilizando una secuencia generada por computadora. Cada condición se repitió 5 veces durante 5 días separados.

*Experimento 2.* Para evaluar la eficacia de combinar múltiples medidas de control, se utilizó el mismo paradigma experimental con filtración HEPA constante. El HCW se sentó junto a la cama (a 0,85 m de la fuente de aerosol) o en un lugar distante (a 2,70 m de la fuente), con el filtro HEPA colocado al pie de la cama ([Figura 1](#)). El HCW usó una mascarilla quirúrgica o una mascarilla N95 APROBADA en la prueba de ajuste. Las 4 condiciones se probaron el mismo día en un orden aleatorio y se repitieron 3 veces durante 3 días separados.

## **Equipo de protección personal**

Los experimentos se realizaron con un solo HCW (SAJ) que vestía una bata (Virafree Isolation Gown, Jiangxi Fashionwind Apparel), guantes (guantes de nitrilo Nisense, Mediflex Industries) y careta (PET Face Shield, Xamen Sanmiss Bags Co).

Se probaron tres variantes de máscara:

- Mascarilla quirúrgica de 3 capas (mascarilla facial OBE Premium)
- Respirador N95 FALLIDO en la prueba de ajuste (definido por una prueba de ajuste cuantitativa fallida, factor de ajuste < 100)

(BYD N95 Healthcare Particulate Respirator, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional [NIOSH] número de aprobación 84A-9279)

- Prueba de ajuste APROBÓ el respirador N95 (definido por la prueba de ajuste cuantitativa aprobada, factor de ajuste = 194)

(3M Aura 1870A, número de aprobación de NIOSH 84A-5726)

La prueba de ajuste cuantitativa se realizó a través del TSI PortaCount Fit Tester modelo 8048, que mide la concentración de partículas en el aire ambiente en relación con el interior de un respirador para calcular un factor de ajuste.

Antes de los experimentos, el usuario comprobaba individualmente el ajuste de las máscaras (cualitativamente) y las ajustaba para optimizar el ajuste. La respiración era en reposo y predominantemente nasal con períodos de respiración oral para comprobar/confirmar el ajuste de la mascarilla. El HCW se afeitó antes de cada experimento para reducir las interacciones máscara/barba.

Después de la exposición al aerosol, el EPP se quitó en una habitación separada de la clínica por un pasillo y 4 puertas selladas. La sala de mudada tenía filtración HEPA continua (5 intercambios de aire/hora). Dos enfermeras expertas (SD, DMK) grabaron en vídeo y examinaron de forma independiente la retirada para garantizar el cumplimiento del procedimiento de retirada ([métodos complementarios](#)).

## **Sala Clínica**

La sala clínica disponía de una puerta insonorizada/aislante de doble cierre. Para controlar los patrones de flujo de aire, las rejillas de ventilación del techo se cerraron con cinta adhesiva y los aparatos de calefacción/refrigeración se apagaron. La temperatura ambiente (mediana, 23,3 °C [mín-máx, 20,8 °C-26,6 °C]), la humedad (mediana 42 % [mín-máx, 32 %-54 %]) y la presión barométrica (mediana, 993,8 mm Hg [mín-máx, 999,3-1018 mm Hg]) estuvieron bien controlados durante los procedimientos experimentales. Las mediciones individuales para cada experimento están disponibles a través del [Resultados complementarios](#).

## **Filtración HEPA**

El IQAir HealthPro250 se utilizó en su tasa más alta de suministro de aire limpio 470 m<sup>3</sup> /hora, que en función del volumen de la habitación logró 13,4 filtraciones por volumen/hora. Este dispositivo se hizo funcionar durante 30 minutos (~6,7 intercambios de filtración) después de la



nebulización para eliminar los bacteriófagos antes de repetir los experimentos. Esto fue luego confirmado por el despliegue de placas de control.

## Análisis de los datos

Los virus viables se cuantificaron contando el número de virus de hisopos y placas de sedimentación. Los recuentos de virus >200 se consideraron demasiados para contar (TMTC) y se clasificaron mediante una escala de clasificación visual ordinal (+, ++, +++, +++++), indicando TMTC++++ la lisis completa del huésped bacteriano. Para gráficos/análisis, las calificaciones de TMTC recibieron valores de 200 a 230. Se usaron las pruebas de Wilcoxon, Mann-Whitney  $U$  o Friedman ( $\chi^2_{\text{Friedman}}$ ) con comparaciones post hoc (prueba de Dunn) para comparar los recuentos de virus entre condiciones.

## RESULTADOS

---

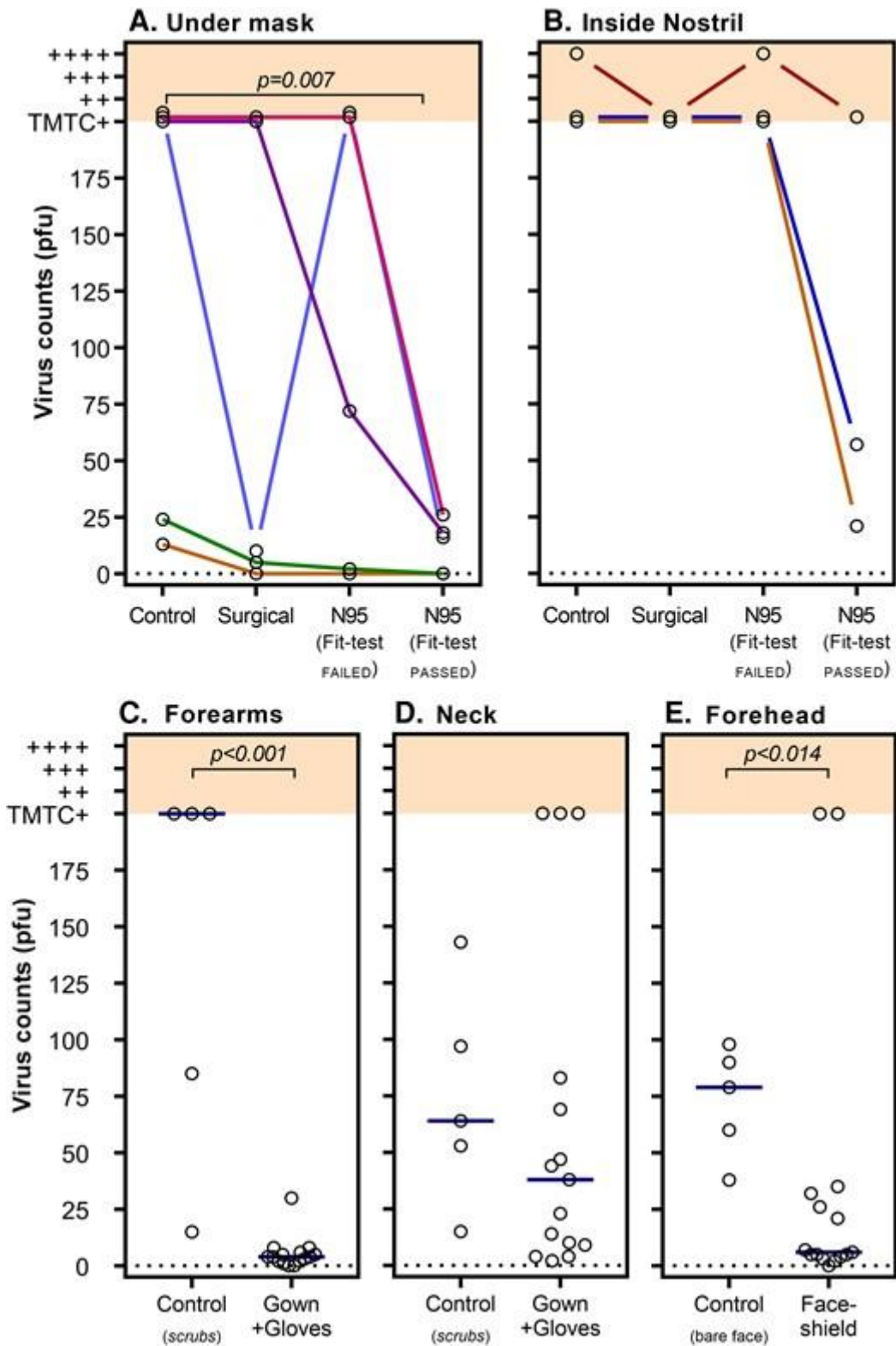
### Experimento 1: Eficacia del EPP para mitigar la exposición de los trabajadores de la salud al aerosol de virus

Las placas de asentamiento confirmaron una contaminación viral sustancial de las superficies en la sala clínica en todas las condiciones experimentales ([Figura complementaria 3](#)).

Los recuentos de virus recuperados de la piel debajo de la mascarilla diferían significativamente según el tipo de mascarilla ( $\chi^2_{\text{Friedman}} = 9,08, P = 0,017$ ; [Figura 2A](#)); sin embargo, solo la máscara N95 APROBADA en la prueba de ajuste resultó en recuentos de virus significativamente más bajos en comparación con el control sin máscara ( $P = 0,007$ , máscara N95 APROBADA en la prueba de ajuste frente al control). Dados los recuentos de virus muy altos y variables recuperados de la piel debajo de la máscara, se introdujeron hisopos de piel tomados del interior de la fosa nasal en el tercer día del experimento (es decir, 3 repeticiones disponibles). Los recuentos de virus desde el interior de la fosa nasal ([Figura 2B](#)) fueron consistentemente altos para el control, la cirugía y la prueba de ajuste FALLIDA. Condiciones de la máscara N95. Hubo una

tendencia a que la máscara N95 APROBADA en la prueba de ajuste redujera los recuentos de virus en el hisopo nasal ( $p = 0,058$ , N95 APROBADA en la prueba de ajuste frente al control); sin embargo, aún se recuperaron recuentos de virus positivos en todas las pruebas.

**Figura 2.**



El efecto del equipo de protección personal (PPE) en los recuentos de placa de virus. Se muestran los recuentos de virus recuperados de los hisopos de piel (círculos abiertos, eje y) y el efecto mitigador de los

diferentes tipos de EPP (condiciones descritas en los ejes x). Los recuentos de virus se cuantificaron como unidades formadoras de placas (PFU), tal como se describió anteriormente [ 16 ]. Los recuentos de virus >200 se consideraron demasiados para contar (TMTC) y se clasificaron mediante una escala de clasificación visual ordinal (+, ++, +++, +++++, que se muestra sombreada). *A* , Recuentos de virus medidos alrededor de la boca/nariz debajo de la máscara. En comparación con la condición de control sin máscara, se encontró que los recuentos de virus eran significativamente más bajos cuando se usaba una máscara N95 PASÓ la prueba de ajuste ( $\chi^2_{\text{Friedman}} = 9.075, P = .017$ ). Las líneas de colores representan los datos recopilados el mismo día (en orden aleatorio). Si bien existe una clara variabilidad en los recuentos de virus dentro de las condiciones, los datos recopilados el mismo día (con el mismo título de bacteriófago) muestran tendencias constantes de recuentos de virus reducidos para la máscara N95 PASSED de la prueba de ajuste. *B* , los recuentos de virus fueron los más altos cuando se midieron desde el interior de la fosa nasal. Hubo una tendencia ( $P = 0,058$ ) para una máscara N95 PASÓ la prueba de ajuste para reducir los recuentos de virus. Sin embargo, una máscara quirúrgica y la prueba de ajuste FALLIDA N95 no parecieron mitigar la exposición al virus. *C* , los recuentos de virus fueron sustancialmente más bajos en los antebrazos/dorso de las manos cuando se usó una bata y guantes en comparación con una condición de control en la que no se usó EPP (solo batas) ( $P < 0,001$ ). *D* , los recuentos de virus en el cuello no se redujeron significativamente con una bata con el cuello expuesto, en comparación con la condición de control sin EPP ( $p = 0,297$ ). *E* , los recuentos de virus recuperados de los hisopos de la frente fueron significativamente más bajos cuando se usó un protector facial en comparación con la condición de control sin EPP ( $P = 0,014$ ). Las barras (mostradas en los paneles *C-E* ) representan los valores medianos.

Hubo recuentos de virus muy variables dentro de las condiciones, particularmente bajo la máscara ( [Figura 2](#) ). Esta variabilidad fue más notable entre los días de prueba, probablemente impulsada por pequeñas diferencias diarias en el título de bacteriófagos, mientras que dentro del día (en el que todos los tipos de mascarillas se compararon en orden aleatorio, [Figura 2A](#) y [2B](#) ), hubo resultados consistentes. tendencias que sugieren que la prueba de ajuste APROBÓ la máscara N95 siempre se realizó mejor que la condición de control. Del mismo modo, las máscaras quirúrgicas y de prueba de ajuste FAILED N95 fueron muy superiores (excepto 1 caso) en comparación con el control.

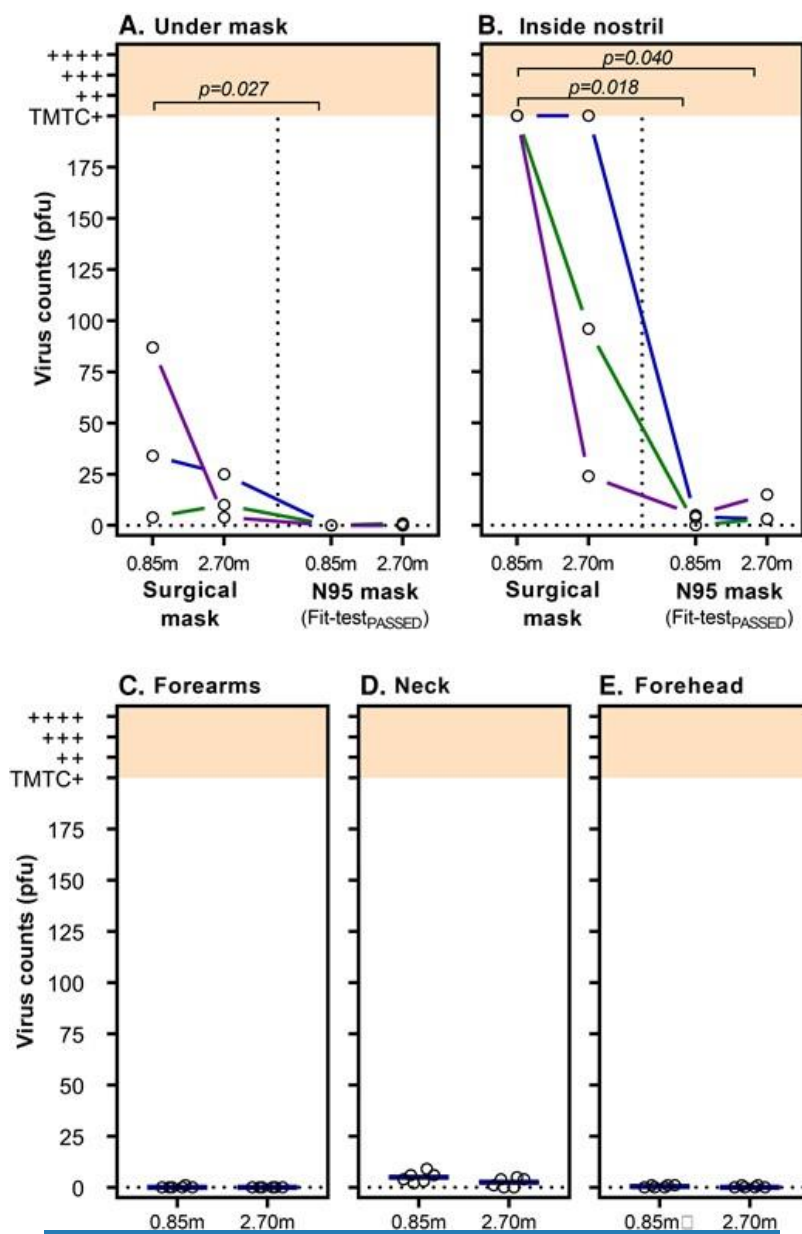
Para evaluar la eficacia de los guantes, la bata y los protectores faciales para reducir los recuentos de virus recuperados del cuerpo, los datos se combinaron en todas las condiciones de máscara y se compararon con el control sin EPP ( [Figura 2 C – E](#) ). Una bata y guantes redujeron sustancialmente los recuentos de virus en los antebrazos/manos en comparación con el control sin EPP ( $U = 1, P < 0,001$ ). Se detectaron virus en todas las muestras de cuello y no hubo diferencias significativas entre el control sin EPP (tenga en cuenta que la bata utilizada no cubre el cuello;  $U = 25, P = 0,297$ ). Los recuentos de virus medidos a partir de hisopos de la frente se redujeron significativamente con el protector facial en comparación con el control sin EPP ( $U = 10, P = 0,014$ ).

## **Experimento 2: Eficacia de combinar PPE, filtración HEPA y distanciamiento**

Las placas de sedimentación demostraron recuentos sustanciales de virus durante la nebulización a pesar de la presencia del filtro HEPA. Las placas más cercanas a la fuente de aerosol ( [Figura 1](#) , placas 4 y 5) demostraron los recuentos de virus más altos. En general, los recuentos de virus de las placas fueron significativamente más bajos con la filtración HEPA en comparación con los recuentos de virus en las placas del experimento 1 ( [Figura complementaria 5](#) ).

Los recuentos de virus fueron, en promedio, más bajos en las ubicaciones y condiciones de los hisopos en comparación con el experimento 1 ( [Figura 3](#) ). Los recuentos de virus debajo de la máscara difirieron significativamente entre las condiciones ( $\chi^2_{\text{Friedman}} = 7,93, P = 0,028$ ; [Figura 3A](#) ) y fueron más altos al lado de la cama con una máscara quirúrgica en comparación con la prueba de ajuste APROBÓ la máscara N95 al lado de la cama ( $P = 0,00$ . 027). Hubo una tendencia que sugería que la mascarilla N95 APROBADA en la prueba de ajuste al lado de la cama superó a la mascarilla quirúrgica a distancia ( $p = 0,058$ ). En particular, los recuentos de virus estuvieron cerca de cero para la máscara N95 APROBADA en la prueba de ajuste en ambas distancias.

### **Figura 3.**



[Abrir en una pestaña nueva](#) [Descargar diapositiva](#)

Filtración de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) combinada con equipo de protección personal (PPE) y distancia en los recuentos de placa de virus. Los recuentos de virus de hisopos de piel (círculos abiertos, eje y) se muestran en ubicaciones de 0,85 m (es decir, junto a la cama) y 2,5 m (distanciados) (eje x). Los recuentos de virus se cuantificaron como unidades formadoras de placas (PFU). Las líneas de colores conectan los puntos de datos recopilados el mismo día (mismo título exacto de bacteriófagos). Los recuentos de virus >200 se consideraron demasiados para contar (TMTTC) y se clasificaron mediante una escala de clasificación visual ordinal (+, ++, +++, +++++, que se muestra sombreada). Un filtro HEPA ajustado a una tasa de filtración de aire limpio de 470 m<sup>3</sup> /hora (equivalente a 13 intercambios/hora) está presente en todas las condiciones. *A*, Los recuentos de virus recuperados debajo de la máscara fueron significativamente más bajos con una prueba de ajuste PASÓ la máscara N95. *B*, los recuentos de virus del interior de la fosa nasal fueron

sustancialmente más altos para la máscara quirúrgica en comparación con la máscara N95 PASSED de la prueba de ajuste. La combinación de filtración HEPA y EPP (bata, guantes y protector facial) dio como resultado recuentos de virus muy bajos en los antebrazos ( C ), el cuello ( D ) y la frente ( E ); sin embargo, el cuello era el sitio del cuerpo menos protegido, probablemente debido a que la bata no cubría. Las barras (mostradas en los paneles C–E ) representan los valores medianos.

De acuerdo con el experimento 1, los recuentos de virus de los hisopos nasales fueron más altos que todos los demás sitios de hisopos y variaron sustancialmente según el tipo de máscara y la distancia ( $\chi^2_{\text{Friedman}} = 7,97, P = 0,017$ ; [Figura 3B](#) ). Los recuentos de virus nasales debajo de una máscara quirúrgica fueron consistentemente TMTC y significativamente más altos que la máscara N95 APROBADA en la prueba de ajuste en las posiciones junto a la cama (  $P = 0,017$  ) y distanciada (  $P = 0,040$  ). Mientras que los recuentos de virus del hisopo nasal fueron más bajos con la prueba de ajuste APROBADA N95 al lado de la cama en comparación con la máscara quirúrgica a distancia (  $P = .082$  ), esto no fue estadísticamente significativo, similar a los resultados de los hisopos debajo de la máscara. Los recuentos de virus no difirieron significativamente en función de la distancia para las mascarillas quirúrgicas (  $p = 0,527$ , mascarilla quirúrgica al lado de la cama frente a la distancia), o para la prueba de ajuste APROBÓ la mascarilla N95 (  $P = 0,752$ , prueba de ajuste APROBÓ la mascarilla N95 al lado de la cama frente a la distancia) probablemente debido al efecto suelo.

La combinación de PPE (bata, guantes, protector facial) y filtración HEPA dio como resultado recuentos de virus muy bajos en los antebrazos y la frente, independientemente de la distancia desde la fuente del aerosol (el recuento de virus más alto recuperado de los hisopos en todos los experimentos fue de 1 UFP). El sitio del cuello tenía recuentos de virus bajos (mediana [rango intercuartílico], 5 [2,75–7,75] para la cabecera; 2,5 [0–4,25] para la distancia), pero fueron consistentemente más altos en comparación con los hisopos de la frente. La diferencia entre cabecera y distancia no fue significativa (  $p > 0,99$ , sitio del cuello, cabecera frente a distancia).

## **Efecto de la ducha en los recuentos de virus**

Ducharse entre condiciones experimentales redujo los recuentos de virus a casi cero en los hisopos de la piel y las fosas nasales posteriores a la ducha. La reducción en los recuentos de virus lograda con la ducha fue significativa para cada sitio de hisopado ([Figuras complementarias 6 y 7](#)).

## DISCUSIÓN

---

Nuestro estudio es el primero en realizar experimentos con aerosoles de virus vivos para examinar sistemáticamente la contaminación por virus HCW y la interacción entre el aerosol de virus, el EPP y la filtración de aire mediante un filtro HEPA portátil. Descubrimos que la combinación de una máscara N95 que pasó una prueba de ajuste cuantitativa y un filtro HEPA portátil brindó una protección casi completa contra cargas altas de aerosoles virales a corta distancia durante períodos prolongados. De manera crítica, las máscaras quirúrgicas brindaron una protección inadecuada contra la contaminación de la piel y las vías respiratorias superiores, incluso cuando se combinaron con filtración HEPA y a distancias de 2,70 m. A la luz de la transmisión por aerosol del SARS-CoV-2 y la aparición de variantes preocupantes más transmisibles, nuestros hallazgos tienen implicaciones amplias e inmediatas para la protección de los trabajadores sanitarios.

La evidencia clínica de la superioridad de los respiradores N95 sobre otros tipos de máscaras en la protección contra la infección por SARS-CoV-2 es mixta [ [22-24](#) ]. Nuestros datos identifican 2 posibles razones mecánicas para señales clínicas mixtas: (1) ajuste de la máscara y (2) falibilidad a una carga viral alta. Los respiradores N95 aprobados funcionan según un estándar de filtración que protege contra partículas en el rango de nanómetros [ [25](#) ]. Es importante destacar que los informes anteriores sobre las propiedades de penetración de las mascarillas quirúrgicas y N95 muestran que la fuga periférica es más importante que las propiedades de filtrado del material de la mascarilla [ [26](#) ]. Los espacios entre la cara y la máscara proporcionan puntos de baja resistencia para que el flujo de aire eluda el filtro de la máscara (de mayor resistencia). Las máscaras mal ajustadas permiten un flujo de aire significativo a través de estos espacios en los que se puede infiltrar el aerosol cargado de virus. Nuestro estudio demuestra que una máscara

N95 que pasó una prueba de ajuste cuantitativa reduce la contaminación por aerosol de virus nasal y de la piel en comparación con la prueba de ajuste FALLIDA N95 y las máscaras quirúrgicas. Es importante destacar que tanto la prueba de ajuste FALLIDA N95 como las máscaras quirúrgicas fueron verificadas por el usuario en el momento de cada aplicación para garantizar el mejor ajuste posible para esa máscara específica durante cada condición. Una prueba de ajuste APROBADA N95 fue la única condición que demostró ser superior al control (sin máscara). También cabe destacar que la prueba de ajuste FALLÓ N95 tenía el tamaño adecuado y no tenía indicadores cualitativos externos de mal ajuste y se ajustó de forma en cada aplicación por protocolo. A pesar de esto, la prueba de ajuste FAILED N95 se realizó con una eficacia similar a la de una mascarilla quirúrgica, lo que nuevamente destaca la importancia crítica del ajuste de la mascarilla. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de una prueba de ajuste cuantitativa de los respiradores N95 para todos los trabajadores de la salud que miran hacia adelante, un proceso que no es una práctica universal y que depende del suministro de máscaras disponible [ 27 ]. Sin embargo, en nuestro estudio, incluso con la máscara N95 que mejor se ajustaba, todavía había contaminación de aerosol de virus en la nariz después de 40 minutos de exposición a una carga alta de aerosol de virus a corta distancia en ausencia de filtración HEPA ( [Figura 2 B](#) ).

Los pacientes con enfermedades infecciosas transmitidas por el aire generalmente se atienden en salas de presión negativa que están diseñadas para facilitar 12 intercambios de aire por hora. Sin embargo, dichas salas se agotan/abruman rápidamente en una pandemia de enfermedades respiratorias infecciosas. Un método alternativo es filtrar el aire dentro de la habitación de un paciente con filtros HEPA portátiles. El CDC recomienda que se puedan usar filtros HEPA en lugar de salas de presión negativa mientras se renuevan o reparan las instalaciones hospitalarias [ 28 ]. Esta idea ganó fuerza durante la pandemia de COVID-19 a medida que se reconoció ampliamente la propagación aérea del SARS-CoV-2. Aunque faltan ensayos clínicos, existen varios experimentos que demuestran la eficacia de los filtros HEPA para eliminar el humo/aerosoles químicos [ 29-31 ]. Nuestro método de aerosolizar un virus vivo de tamaño similar al SARS-CoV-2 tiene varias ventajas sobre los métodos químicos/de humo. En primer



lugar, nuestro método detecta y cuantifica virus viables que todavía pueden infectar a *E. coli*. En segundo lugar, nuestro método permite la cuantificación de los virus que se asientan en las superficies, se infiltran en el equipo de protección personal y, lo que es más importante, se depositan en las vías respiratorias superiores humanas.

Demostremos 2 efectos significativos de la filtración HEPA en aerosoles cargados de virus. En primer lugar, en relación con los trabajadores de la salud, descubrimos que un filtro HEPA mejora la eficacia del EPP, de modo que una máscara N95 APROBADA cuantitativamente en la prueba de ajuste proporcionó una protección casi completa contra la piel debajo de la máscara y la contaminación nasal del aerosol de virus. El nivel de protección que ofrece la deposición nasal del virus es fundamental, ya que se relaciona directamente con los posibles puertos de entrada del SARS-CoV-2, incluso a través del tracto respiratorio superior y los pulmones. Aunque la deposición de partículas en el tracto respiratorio es compleja, un modelo ampliamente verificado para la deposición regional de aerosoles muestra que para moléculas en el rango de 0,2 a 10  $\mu\text{m}$ , la deposición en la parte anterior de la nariz es mayor que en los bronquiolos cuando se respira por la boca o la nariz.[32](#), [33](#)]. Como tal, el hallazgo en nuestro estudio de una protección casi completa contra el aerosol de virus en un hisopo nasal puede usarse para inferir una protección casi completa contra la deposición pulmonar. En segundo lugar, descubrimos que la implementación del filtro HEPA redujo los recuentos de virus en las placas de sedimentación de la habitación en comparación con la condición sin filtro HEPA. Sin embargo, todavía había una gran contaminación ambiental por virus con el filtro HEPA desplegado. Esto tiene implicaciones claras para el despliegue de dichos dispositivos en entornos hospitalarios. Si bien el filtro HEPA redujo la carga de aerosol y, por lo tanto, es probable que reduzca el riesgo, no niega la contaminación ambiental de la misma manera que nuestra estrategia de "punto de emisión" combinada de filtro HEPA/campana del paciente publicada anteriormente [[20](#)].

Existen varias limitaciones en este estudio. Primero, este fue un estudio experimental que utilizó grandes cantidades de un virus marcador en lugar de un ensayo clínico de observación. Por lo tanto, advertimos encarecidamente que no se hagan comparaciones cuantitativas directas

(basadas en valores absolutos de PFU en cada condición de máscara) con las dosis infecciosas mínimas publicadas para virus respiratorios. Este diseño experimental no nos permite determinar directamente si los recuentos de virus en las fosas nasales de los trabajadores sanitarios pueden provocar una infección clínica. De manera similar, el HCW permaneció sentado en la sala clínica durante todo el período de exposición. Si bien esto proporcionó un buen control experimental de la exposición, este comportamiento no es directamente generalizable a la práctica clínica. En segundo lugar, aerosolizamos una carga viral más alta ( $10^8$ /mL) en comparación con los aerosoles generados por pacientes infectados con coronavirus [ 34 ]. Sin embargo, la elección del título de bacteriófagos se determinó en base a experimentos de sensibilidad de detección (para hisopos de piel y placas de sedimentación) que nos permitirían evaluar las reducciones relativas entre las variantes de máscara. Es importante destacar que la carga viral utilizada fue similar a los experimentos anteriores de nuestro grupo [ 20 ] y otros [ 35 ] utilizando metodologías de bacteriófagos. Es importante destacar que el uso de una carga viral alta proporciona una prueba de seguridad adecuadamente sólida de estas estrategias de EPP. En tercer lugar, observamos una variabilidad significativa en los virus cuantificados a partir de muestras de hisopos. Nuestros análisis demuestran que esta variabilidad está impulsada por las diferencias entre días, probablemente como resultado de las diferencias en el título de bacteriófagos en aerosol en un día determinado. Nuestros datos dentro del día demuestran reducciones relativas constantes en los recuentos de virus entre la máscara N95 ajustada y el control ( Figura 2A y 2B ). Esto es importante dado que un alto grado de variabilidad en la carga/exposición viral es un fenómeno esperado en los entornos de atención médica. Es importante destacar que para nuestro hallazgo principal del efecto de la prueba de ajuste cuantitativa APROBÓN95 y filtro HEPA, los resultados que indican casi universal cero virus detectable son tranquilizadores en este sentido. En cuarto lugar, nuestros experimentos se llevan a cabo en una sala clínica sellada en lugar de una sala clínica estándar, que debe tener aproximadamente entre 6 y 12 intercambios de aire por hora. Por lo tanto, no se producía ninguna mezcla entre el aire limpio y el exterior (p. ej., ingreso por debajo del espacio de la puerta o a través de las aberturas de ventilación). La falta de mezcla sesga hacia una mayor carga de aerosol

en la sala experimental y, por lo tanto, representa el peor de los casos para la ventilación de la sala. Esto nuevamente brinda seguridad sobre la alta efectividad de la combinación de prueba de ajuste APROBADO Filtro N95, PPE y HEPA. Finalmente, aunque el análisis de partículas no se realizó durante las condiciones, los registros de referencia indicativos en nuestros experimentos demuestran una alta carga de partículas de distribución de tamaño en el rango generado por humanos [ 35 ], lo que confirma el rendimiento del nebulizador Pari-PEP.

En conclusión, la aparición de variantes más transmisibles del SARS-CoV-2 ha puesto de relieve las lagunas en la protección de los trabajadores sanitarios que estuvieron expuestos en 2020-2021. Los proveedores de atención médica deben implementar una serie simultánea de estrategias de mitigación para optimizar la seguridad de los HCW. Las máscaras N95 que pasan una prueba de ajuste cuantitativa combinadas con un filtro HEPA pueden ofrecer protección contra altas cargas de aerosoles de virus, a corta distancia, durante períodos prolongados.

## Dato suplementario

---

[Los materiales complementarios](#) están disponibles en *The Journal of Infectious Diseases* en línea (<http://jid.oxfordjournals.org/>). Los materiales complementarios consisten en datos proporcionados por el autor que se publican para beneficio del lector. Los materiales publicados no están corregidos. El contenido de todos los datos complementarios es responsabilidad exclusiva de los autores. Las preguntas o mensajes sobre errores deben dirigirse al autor.

## notas

---

**Contribuciones de autor.** Conceptualización y análisis formal: SAL, SAJ  
Adquisición de fondos: SAJ, SAL, BAE, GSH, DM Investigación: SAL, DS, JJB, SD, DMK, SAJ Metodología: SAL, DS, JJB, SAJ Administración del proyecto: SAJ Recursos: JJB, BAE, SAJ Validación: SAL, DS, JJB, SD, DMK, SAJ Visualización: SAL Todos los autores realizaron la redacción y edición del manuscrito.

**Compartir datos.** Los detalles metodológicos adicionales, los análisis complementarios y los enlaces a los datos del estudio se encuentran en los Datos complementarios.

**Soporte financiero.** Este trabajo fue financiado por una subvención de investigación de creación de capacidad del Hospital Epworth (número de subvención EH2020-654).

**Posibles conflictos de intereses.** Todos los autores: No se reportaron conflictos de interés.

Todos los autores han enviado el Formulario ICMJE para la divulgación de posibles conflictos de intereses. Se han revelado los conflictos que los editores consideran relevantes para el contenido del manuscrito.

## Referencias

---

Organización Mundial de la Salud

Enfermedad por coronavirus (COVID-19): ¿cómo se transmite?

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/qa-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> .

Consultado el 20 de mayo de 2021

Centros de Control y Prevención de Enfermedades

Resumen científico: transmisión del SARS-CoV-2

. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html> .

Consultado el 20 de mayo de 2021

Olsen sj , chang NS , Cheung TY , et al.

Transmisión del síndrome respiratorio agudo severo en aeronaves

.

*N Inglés J Med* 2003 ; 349 : 2416 – 22

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Yu ESO , li Y , Wong TW , et al.

Evidencia de transmisión aérea del virus del síndrome respiratorio agudo severo

. *N Inglés J Med*

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

tran k , Cimón k , Severno METRO , Pessoa-Silva CL , Conly j .

Procedimientos generadores de aerosoles y riesgo de transmisión de infecciones respiratorias agudas a los trabajadores de la salud: una revisión sistemática

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Goldberg L , Levinsky Y , marcus norte , et al.

Infección por SARS-CoV-2 entre trabajadores de la salud a pesar del uso de mascarillas quirúrgicas y distanciamiento físico: el papel de la transmisión aérea

[Google Académico](#)

Klompas METRO , Panadero MAMÁ , Griesbach D , et al.

Transmisión de SARS-CoV-2 de personas asintomáticas y presintomáticas en entornos de atención médica a pesar de máscaras médicas y protección ocular

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Oksanen LAH , Sanmarca mi , Oksanen SA , et al.

Fuentes de infecciones por COVID19 de los trabajadores de la salud y pautas de seguridad relacionadas

.

*Int J Occup Med Environ Health*

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Lednický JA , Lauzardo METRO , Ventilador Z H , et al.  
SARS-CoV-2 viable en el aire de una habitación de hospital con pacientes con COVID-19

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Centros de Control y Prevención de Enfermedades

.

Recomendaciones provisionales de prevención y control de infecciones para el personal de atención médica durante la pandemia de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19)

. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/infection-control-recommendations.html> .

Consultado el 20 de mayo de 2021

MacIntyre RC , Wang q , Seale H , et al.

Un ensayo clínico aleatorizado de tres opciones para respiradores N95 y máscaras médicas en trabajadores de la salud

.

*Am J Respir Crit Care Med*

2013

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

MacIntyre RC , Wang q , Cauchemez S , et al.

Un ensayo clínico aleatorizado por grupos que compara respiradores N95 probados y no probados con ajuste con máscaras médicas para prevenir infecciones por virus respiratorios en trabajadores de la salud

.

*Influenza Otros virus respiratorios*

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

jefferson T , del mar CB , Dooley L , et al.

Intervenciones físicas para interrumpir o reducir la propagación de virus respiratorios

.

*Revisión del sistema de la base de datos Cochrane*  
2020

[Google Académico](#)

Bulfone CT , Malekinejad METRO , Rutherford GW , Razani norte

.

Transmisión al aire libre de SARS-CoV-2 y otros virus respiratorios: una revisión sistemática

.

*J infectar enfermedad*

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Santarpia JL , Rivera DN , herrera VL , et al.

Contaminación de aerosoles y superficies por SARS-CoV-2 observada en cuidados de cuarentena y aislamiento

.

*Representante científico*

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Bonilla norte , Rojas MI , Neto Flores Cruz GRAMO , Colgado SH , Rohwer F , Barr JJ

Phage on tap: un protocolo rápido y eficaz para la preparación de stocks de laboratorio de bacteriófagos

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Landry SA , Barr JJ , MacDonald MI , et al.

Propagación de aerosol de virus viable por fuga del circuito de presión positiva en las vías respiratorias y mitigación con una campana de paciente ventilada

*Eur Respir J* 2021 ; 57

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

18

Landry SA , Subedi D , MacDonald MI , et al.

La filtración del aire en el punto de emisión mejora la protección de los trabajadores de la salud contra la contaminación de la piel con aerosoles de virus [manuscrito publicado en línea antes de la impresión el 13 de febrero de 2022]

.

*Respirología*

.

[Google Académico](#)

Berlinski A

.

Evaluación in vitro de dispositivos de presión espiratoria positiva conectados a nebulizadores

*cuidado de la respiración*

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

20

Organización Internacional de Normalización

.

*Ropa de protección contra el contacto con sangre y fluidos corporales. Determinación de la resistencia de los materiales de la ropa de protección a la penetración de patógenos transmitidos por la sangre: método de prueba que utiliza el bacteriófago Phi-X 174 (número ISO 16604)*



Ginebra, Suiza

: Organización Internacional de Normalización

chou R , Dana T , jungbauer R , Semanas C , McDonagh EM

.

Máscaras para la prevención de infecciones por virus respiratorios, incluido el SARS-CoV-2, en entornos comunitarios y de atención médica: una revisión rápida y viva

.

*Ann Intern Med*

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Qaseem A , Etxeandia-Ikobaltzeta yo , Yost j , et al.

Uso de mascarillas N95, quirúrgicas y de tela para prevenir la COVID-19 en entornos comunitarios y de atención médica: puntos de práctica de vida del Colegio Estadounidense de Médicos (versión 1)

.

*Ann Intern Med*

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

regli A , sommerfield A , Von Ungern-Sternberg licenciatura

.

El papel de las pruebas de ajuste de las mascarillas N95/FFP2/FFP3: una revisión narrativa

*Anestesia*

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Rengasamy S , Rey WP , Eimer antes de Cristo , Shaffer RE

.

Rendimiento de filtración de los respiradores con pieza facial filtrante N95 y P100 aprobados por NIOSH frente a nanopartículas de tamaño de 4 a 30 nanómetros

.

*J Ocupar Medio Ambiente Higiene*  
2008

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

grinshpun SA , Haruta H , Eninger RM , Reponen T , McKay RT , Sotavento SA

Rendimiento de un respirador de partículas con pieza facial filtrante N95 y una máscara quirúrgica durante la respiración humana: dos vías para la penetración de partículas

.

*J Ocupar Medio Ambiente Higiene*  
2009

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Houghton C , meskell PAG , Delaney H , et al.

Barreras y facilitadores para el cumplimiento de los trabajadores de la salud con las guías de prevención y control de infecciones (PCI) para enfermedades respiratorias infecciosas: una síntesis rápida de evidencia cualitativa

.

*Revisión del sistema de la base de datos Cochrane*  
2020

[Google Académico](#)

[PubMed](#)

Sehulster L , barbilla RY , Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades H

.

Directrices para el control de infecciones ambientales en los establecimientos de salud. Recomendaciones de los CDC y el Comité Asesor de Prácticas de Control de Infecciones en el Cuidado de la Salud (HICPAC)

.

*Representante recomendado de MMWR*

.

[Google Académico](#)

[PubMed](#)

Burgmann S , Janoske tu

Transmisión y reducción de aerosoles en las aulas mediante sistemas de purificación de aire

*Fluidos físicos (1994)*

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

lindsley Grupo de trabajo , Derk RC , coyle JP , et al.

Eficacia de filtros de aire portátiles y enmascaramiento para reducir la exposición en interiores a aerosoles de SARS-CoV-2 exhalados simulados— Estados Unidos, 2021

*MMWR Morb Mortal Wkly Rep*

2021 ;

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

edificio KL , Schofield R , Irving L , et al.

Uso de purificadores de aire portátiles para reducir la transmisión de aerosoles en una sala hospitalaria de enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) [manuscrito publicado en línea antes de la impresión el 24 de junio de 2021]

.

*Control de Infecciones Hosp Epidemiol*

2021

. doi: [10.1017/ice.2021.284](https://doi.org/10.1017/ice.2021.284) .

[Google Académico](#)

Modelo de vías respiratorias humanas para protección radiológica

.

Informe de un grupo de tareas de la Comisión Internacional de Protección Radiológica

.

*Ana ICRP* .

[referencia cruzada](#)

Hombre nuevo SP , pitcairn GRAMO , Tonelero GRAMO , toque METRO .  
Entrega eficiente de fármacos a los pulmones desde un nebulizador de ventilación abierta de operación continua y un sistema compresor de baja presión

*Eur Respiro J*

1994

.

[Google Académico](#)

[PubMed](#)

Leung NHL , Chu DKW , Shiu EYC , et al.

Eliminación de virus respiratorios en el aliento exhalado y eficacia de las mascarillas faciales

*Nat Med*

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Avari H , Hiebert RJ , Rzyzyski Automóvil club británico , et al.

Evaluación cuantitativa de la dispersión viral asociada con dispositivos de asistencia respiratoria en un entorno de cuidados críticos simulado

*Am J Respir Crit Care Med*

.

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

[PubMed](#)

Morawska L , Johnson GRAMO , Ristovski ZD , et al.

Distribución del tamaño y sitios de origen de las gotitas expulsadas del tracto respiratorio humano durante las actividades espiratorias .

*J Aerosol ciencia*

[Google Académico](#)

[referencia cruzada](#)

© The Author(s) 2022. Publicado por Oxford University Press en nombre de Infectious Diseases Society of America.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de atribución de Creative Commons ( <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> ), que

permite la reutilización, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que el trabajo original está debidamente citado.