

# Protección respiratoria para exposiciones a riesgos biológicos aéreos

## Resumen

Las enfermedades pueden transmitirse por varias rutas, incluyendo la inhalación de aerosoles. Cuando se ajustan y mantienen adecuadamente, se ha demostrado que los respiradores para partículas reducen la cantidad de aerosoles - tanto bioaerosoles como aerosoles no biológicos - inhalados por el usuario. Por el contrario, la mayoría de las mascarillas o barbiquejos quirúrgicos no están diseñadas para sellar de manera ajustada sobre el rostro, y las investigaciones han demostrado que no alcanzan el nivel de reducción de contaminantes proporcionado por un respirador aprobado por NIOSH o CE usados correctamente. Aunque se han planteado preguntas sobre si las partículas biológicas pueden ser o no filtradas de manera similar a partículas no biológicas, las investigaciones muestran que un respirador filtrante eliminará los aerosoles biológicos de manera similar que aerosoles no biológicos en el aire que lo atraviesa.

Cuando se requiere de protección respiratoria para ayudar a reducir la exposición a aerosoles biológicos, el usuario deberá seleccionar un respirador contra partículas certificado de acuerdo con las recomendaciones de la CDC, OMS, o de su autoridad local. Una vez seleccionado el respirador, se debe implementar un programa de protección respiratoria efectivo y continuo, que cumpla con los requisitos legales aplicables. Esto incluye capacitación a los usuarios sobre los peligros respiratorios, pruebas de ajuste, mantenimiento y disposición final adecuados.

## Introducción

Recientemente se ha incrementado el interés en el uso de respiradores para ayudar a protegerse de ciertos peligros biológicos que pueden diseminarse por el aire. Las enfermedades que pueden ser causadas por inhalación de organismos biológicos suspendidos en el aire incluyen tuberculosis (TB), hantavirus, ántrax, coronavirus (incluyendo SARS, MERS, y otras) y la influenza. Los peligros biológicos pueden ser transportados por el aire; quizás como el agente aislado, como una espora de ántrax, o estar sobre otro material que puede ser transportado por el aire, como polvo, neblinas o gotas. El Hantavirus ha causado infecciones en personas al inhalar partículas de tierra en el aire, luego de que roedores depositaron el virus vía la orina, heces u otros materiales en la tierra. De hecho, por lo general se cree que los virus en el aire normalmente se adhieren a otras partículas y rara vez existen como organismos aislados<sup>1</sup>.

La inhalación de estos aerosoles biológicos puede reducirse al usar respiradores. Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC por sus siglas en inglés), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y muchas autoridades nacionales de salud han publicado varias recomendaciones para el uso de respiradores cuando han creído que existe la posibilidad de contagio de una enfermedad por medio del aire. Las consideraciones para la selección y uso de respiradores para ayudar a reducir la exposición a aerosoles biológicos incluyen:

- Filtración
- Supervivencia del microorganismo en el filtro
- Potencial re-aspersión del aerosol biológico
- Reuso del respirador
- Ajuste y factor de protección asignado del respirador

Estos tópicos serán abordados en este boletín.

## Rutas de Exposición

La inhalación no es la única ruta de exposición a peligros biológicos. La infección puede ocurrir por otras rutas de exposición, como ingestión, absorción por la piel y membranas mucosas (incluyendo los ojos), mordeduras de animales y picaduras de

insectos. La penetración por piel y membrana mucosa puede ocurrir por contacto directo con aerosoles o indirecto; por ejemplo, al tocar una superficie contaminada con la mano y luego tocar una membrana mucosa.

La forma en que se contagia una enfermedad indica qué tipo de controles son útiles en la prevención del contagio. Si la enfermedad se puede adquirir por contacto, es muy importante evitar la contaminación de las superficies y la higiene de manos. La gente infectada puede usar mascarillas quirúrgicas para reducir el contagio vía aerosoles exhalados. Las mascarillas quirúrgicas, gafas o monogafas (googles) de seguridad y pantallas faciales pueden usarse para ayudar a proteger las membranas mucosas (ojos, nariz y boca) de aerosoles y salpicaduras de sangre u otros fluidos corporales. También podría ser apropiado el uso de respiradores.

Partículas de tamaños inferiores a 100 µm pueden permanecer en el aire por largos periodos de tiempo.<sup>2</sup> Estos tamaños de partículas de pueden ingresar por la nariz, boca y garganta y se consideran "inhalables". Las partículas de menos de 10 µm pueden alcanzar los bronquiolos grandes y son consideradas como la fracción "torácica", y las partículas más pequeñas que aproximadamente 5 µm pueden ingresar al pulmón profundo y se consideran la fracción "respirable".<sup>3</sup>

Ciertas enfermedades pueden propagarse a través del aire. Esto significa que, si el organismo que causa la enfermedad está en un aerosol es posible que pueda causar la enfermedad. La tuberculosis es una enfermedad que se transmite por medio del aire. Se sabe que los profesionales de salud pueden adquirir la tuberculosis durante el cuidado de pacientes tuberculosos. En un estudio en particular, los investigadores creen que la transmisión ocurrió durante un procedimiento que generó un aerosol usado por un profesional de la salud que no usaba respirador, de acuerdo con las recomendaciones existentes en ese momento.<sup>45</sup> Existe evidencia que indica que la vía aérea es una de las formas en que pueden propagarse el síndrome respiratorio agudo severo (SRAS) y la influenza estacional.<sup>4-8</sup> El análisis de varios sistemas de ventilación típicos de salas quirúrgicas sugiere que las partículas en el aire son rápida y homogéneamente distribuidas en la habitación.<sup>46</sup> Cuando los virus y bacterias son transportados por el aire, los respiradores con filtros de partículas pueden retenerlos. Debido a que ningún respirador evitará la inhalación de todas las partículas, tales como virus y bacterias, los respiradores no pueden eliminar el riesgo de exposición, infección y enfermedad. Con tantas recomendaciones de uso de respiradores en sitios web y otras fuentes, es importante comprender como funcionan los respiradores y su papel ayudando a reducir la exposición a aerosoles biológicos.

## Terminología

**Aerosoles biológicos** son aquellas partículas suspendidas en el aire que viven o se originan de organismos vivos.<sup>9</sup> Incluyen microorganismos y fragmentos, toxinas y partículas desechadas por todas las variedades de seres vivos.

**Respirador** es un dispositivo diseñado para ayudar a proveer protección respiratoria al usuario contra inhalación de una atmósfera peligrosa.<sup>10</sup> Para aerosoles biológicos, a menudo se recomiendan respiradores que atrapan partículas para ayudar a reducir la exposición.

Los respiradores para partículas están disponibles como:

1. Un respirador de pieza facial filtrante (a veces llamado respirador desechable) donde el filtro es virtualmente todo el respirador
2. Una pieza facial elastomérica (reusable) de media cara con filtro para partículas
3. Una pieza facial elastomérica (reusable) de cara completa con filtro para partículas
4. Un respirador purificador de aire forzado (PAPR por sus siglas en inglés) que incluye un filtro para partículas

Los respiradores para partículas están clasificados por su desempeño de acuerdo con estándares de certificación locales. En EUA el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) realiza estas pruebas. En Europa los respiradores se prueban de acuerdo con la Norma Europea pertinente y son aprobados cumpliendo con la Directriz de EPP (equipo de protección personal) 89/686/EEC o su reglamento reemplazo EPP (EU) 2016/425.

La eficiencia de filtración es uno de los requisitos de desempeño evaluados para la certificación. Estas pruebas están diseñadas para ser muy rigurosas. La table A contiene algunos de los requisitos mínimos de filtración de acuerdo con los

estándares de EUA, Europa y China. Hay muchas variables de prueba que afectan el desempeño como el tipo de aerosol, el tamaño de partícula, caudal, si la carga electrostática del aerosol ha sido neutralizada al estado de equilibrio de Boltzmann, etc. Para una comparación más detallada de estándares globales de respiradores de pieza facial filtrantes vea [3M Technical Bulletin - Comparison of FFP2, KN95, and N95 and Other Filtering Facepiece Respirator Classes](#).

**Table A.** Requisitos de Filtración de acuerdo con los Estándares de EUA, Europa, y China

Estándar	Clasificación	Eficiencia de Filtro
NIOSH 42 CFR 84	N95	≥ 95%
NIOSH 42 CFR 84	N99	≥ 99%
NIOSH 42 CFR 84	N100	≥ 99.97%
EN 149:2001	PFF1 (pieza facial filtrante)	≥ 80%
EN 149:2001	PFF2 (pieza facial filtrante)	≥ 94%
EN 149:2001	PFF3 (pieza facial filtrante)	≥ 99%
EN 143:2000, EN 140:1999, EN136:1998	P1 (pieza facial elastomérica)	≥ 80%
EN 143:2000, EN 140:1999, EN136:1998	P2 (pieza facial elastomérica)	≥ 94%
EN 143:2000, EN 140:1999, EN136:1998	P3 (pieza facial elastomérica)	≥ 99.95%
GB2626-2006	KN/KP90	≥ 90%
GB2626-2006	KN/KP95	≥ 95%
GB2626-2006	KN/KP100	≥ 99.97%

Por favor considere que la penetración de partículas por el filtro es solo una de las posibles fuentes de exposición a contaminantes. Otras fuentes potenciales son las fugas por el sello facial, fugas como resultado de mantenimiento incorrecto, o no usar el respirador cuando es necesario pueden contribuir en mayor grado a la exposición que la penetración por el filtro. Cada uno de estos factores debe ser solucionado y controlado. Por ejemplo, todos los respiradores para partículas diseñados para ajustar sobre el rostro (incluyendo los respiradores de pieza facial filtrante) pueden someterse a métodos de prueba de ajuste cualitativa con sacarina o Bitrex™ (con excepción de respiradores de pieza facial de cara completa en algunos países europeos), o usando métodos de prueba de ajuste cuantitativos apropiados tal como el método de conteo de partículas ambientales usando el TSI® PortaCount®. Los usuarios deben ser entrenados en como usar y mantener adecuadamente sus respiradores y en la importancia de usarlos todo durante todo el tiempo de una exposición potencial

Por favor, también debe observar que los respiradores sólo ayudan a reducir la exposición a contaminantes en el aire, pero no previenen la inhalación de todas las partículas. Como resultado, cuando son adecuadamente seleccionados, los respiradores pueden disminuir las exposiciones a concentraciones consideradas seguras para la mayoría de las partículas no biológicas. Sin embargo, el riesgo de exposición, infección, o enfermedad no es eliminado debido a que no se han establecido niveles seguros para partículas biológicas. En muchos países a los tipos o clases de respiradores se les ha dado un “factor de protección asignado” o APF por sus siglas en inglés. El APF indica la habilidad esperada del respirador para reducir la exposición cuando es usado de acuerdo con un programa de protección respiratoria efectivo. Por ejemplo, un APF de 10 significa que un respirador puede reducir la exposición por un factor de 10 (o 90%) cuando se selecciona, usa y mantiene de manera adecuada. Por ende, incluso si un filtro pudiese ser 100% eficiente, el nivel esperado de reducción de la exposición estaría limitado por el APF. Debido a que ningún respirador evitará la inhalación de todas las partículas, estos no pueden eliminar completamente el riesgo de exposición, infección y enfermedad.

Para obtener más información sobre la selección, el uso y el mantenimiento adecuados de equipos de protección respiratoria, consulte la el estándar OSHA protección respiratoria (29 CFR 1910.134) de EE. UU., la norma EN 529 dispositivos de protección respiratoria: recomendaciones para la selección, uso, cuidado y mantenimiento - Documento de orientación,<sup>11</sup> o cualquier norma y guía local aplicable.

Una **máscara quirúrgica** es un dispositivo de control de infecciones diseñado para ayudar a prevenir la propagación de la infección del aliento exhalado del usuario a personas potencialmente susceptibles.<sup>12</sup> Una máscara quirúrgica puede ayudar a reducir la contaminación del ambiente al proporcionar una barrera para las gotas grandes expulsadas por el usuario.

Sin embargo, dado que las máscaras quirúrgicas no se prueban de la misma manera que los respiradores, cualquier afirmación de "eficiencia de filtración" no se puede comparar directamente con los de un respirador.<sup>13, 14</sup> Una máscara quirúrgica también se puede evaluar por su capacidad para reducir la exposición del usuario contra salpicaduras de fluidos o flujos a alta velocidad. La mayoría de las máscaras quirúrgicas no están diseñadas para sellar herméticamente a la cara, y las investigaciones han demostrado que no alcanzan el nivel de reducción de contaminantes proporcionado por un respirador certificado por NIOSH.<sup>14, 15</sup> Esto se ha comprobado que es cierto tanto en estudios de laboratorio<sup>14</sup> como en los centros de atención médica.<sup>15</sup> Cuando se calcularon las tasas de infección entre los trabajadores que usaron respiradores N95, los trabajadores que usaron máscaras médicas y los trabajadores que no usaron ninguno, se descubrió que los respiradores N95 protegían significativamente contra las infecciones bacterianas y virales, mientras que las máscaras quirúrgicas no.<sup>15</sup> OSHA no ha asignado factores de protección a las máscaras quirúrgicas y no se debe confiar en ellas para ayudar a reducir la exposición a partículas inhalables en el aire. Para una comparación más detallada, vea el [3M Boletín Técnico- Respirador y mascarillas quirúrgicas: Una comparación.](#)

En algunos casos, un respirador certificado también puede tener los atributos de una máscara quirúrgica. A veces se los conoce como "Respiradores quirúrgicos N95". Estos productos pueden ayudar a bloquear las gotas grandes expulsadas por el usuario, pero también han demostrado tener eficacia para filtrar partículas más pequeñas y están diseñados para ajustarse firmemente a la cara. Debido al uso adicional como respirador, este tipo de mascarilla quirúrgica (es decir, respirador quirúrgico) también debe probarse su ajuste. Para una exploración de cuándo se necesitan respiradores quirúrgicos N95, consulte el [Boletín técnico de 3M: N95 quirúrgico versus N95 estándar: ¿cuál considerar?](#)

## Filtración

Se han planteado varias preguntas sobre el uso de respiradores contra agentes biológicos. La pregunta principal es si los respiradores de partículas pueden o no filtrar partículas pequeñas como esporas de hongos (2 a 5  $\mu\text{m}$ ), bacterias (0.3 a 10  $\mu\text{m}$ ) o virus (0.02 a 0.3  $\mu\text{m}$ ).<sup>15</sup> Se muestra el tamaño físico de varios organismos en la Tabla B. Como se señaló anteriormente, los organismos biológicos pueden transportarse sobre otras partículas, como polvo, sangre, saliva, etc.

Las gotas generadas al toser, estornudar o hablar se secarán rápidamente en el aire para formar núcleos de gotas. Se ha descubierto que los núcleos de gotitas generados por la tos, los estornudos y el habla van desde submicrones hasta más de 20 micras.<sup>16, 17</sup> Virus de la influenza y otros virus se han recogido del aliento exhalado.<sup>18</sup> Se cree que los núcleos de gotitas que contienen *Mycobacterium tuberculosis* puede variar de menos de 1  $\mu\text{m}$  a más de 5 micras.<sup>19, 20</sup> se han tomado muestras en el aire que contienen virus de la influenza del aire de las habitaciones de los hospitales que contienen pacientes con influenza y se encontraron en el rango de tamaño de menos de 1  $\mu\text{m}$  a más de 4  $\mu\text{m}$ .<sup>4</sup> Comprender los mecanismos de filtración puede ayudar a responder si estas partículas pueden filtrarse o no mediante respiradores de partículas.

Muchos respiradores de partículas usan un medio filtrante fibroso no tejido para capturar partículas. Las fibras de menos de 1  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  de tamaño se entrecruzan para formar una red de muchas capas que es principalmente aire debido a los espacios entre las fibras. Son estos espacios entre las fibras que permiten la respirabilidad. Las partículas quedan atrapadas o capturadas cuando fluyen a través de las capas de los medios de filtro, y una partícula se une a una fibra debido a varios mecanismos diferentes. Los más comunes son el asentamiento gravitacional, la impactación por inercia, la intercepción, la difusión y la atracción electrostática.<sup>1</sup>

**Tabla B.** Tamaño de varios microorganismos

Microorganismo (nombre común o enfermedad)	Tamaño físico (µm)
Hepatitis virus (Hepatitis B)	0.042 - 0.047
Adenovirus (respiratory infections)	0.07 - 0.09
Filoviruses (Ebola)	0.08 diámetro 0.79 - 0.97 longitud
Bunyaviridae (Hantavirus)	0.08 - 0.012
Orthomyxoviridae (Influenza A, B, & C)	0.08 - 0.012
Coronaviridae (SARS - CoV & MERS - CoV)	0.125
Variola Virus (Smallpox)	0.14 - 0.26 diámetro 0.22 - 0.45 longitud
Mycobacterium tuberculosis (TB)	< 1 to > 5 diámetro
Bacillus anthracis spore (Anthrax infection)	1.0 - 1.5 diámetro

Para comprender cómo se captura una partícula, primero se debe considerar el movimiento del aire a través de los medios de filtro. La trayectoria del aire alrededor de una fibra puede describirse en términos de líneas de corriente imaginarias. Cualquier partícula transportada por el aire puede o no permanecer dentro de las líneas de corriente dependiendo en gran medida del tamaño de la partícula (diámetro aerodinámico).

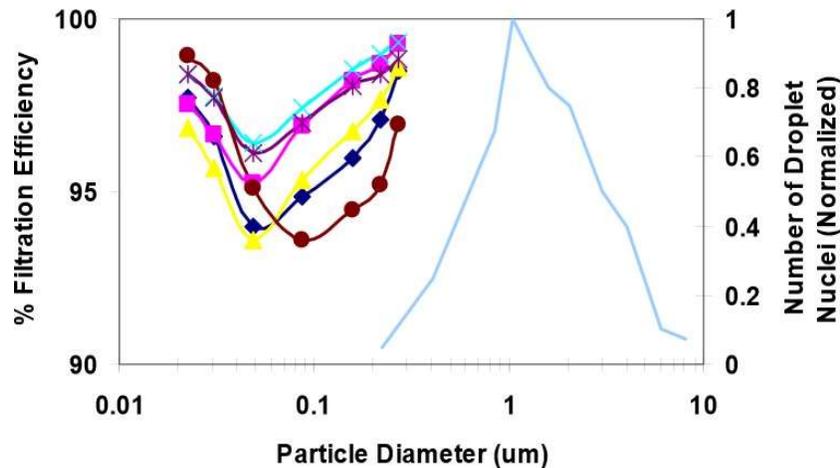
Las partículas muy grandes (<100 µm) en corrientes de aire de movimiento lento pueden depositarse debido a la gravedad. Sin embargo, la mayoría de las partículas respirables son demasiado pequeñas para este mecanismo. Las partículas respirables de más de 0.6 µm de diámetro generalmente se capturan eficientemente por intercepción e impactación inercial.<sup>21</sup> La impactación inercial ocurre cuando una partícula no puede seguir una línea de aire alrededor de una fibra debido a su inercia y en su lugar impacta en la fibra. En el mecanismo de intercepción, la partícula se mantiene en la línea de corriente, pero esa línea de corriente naturalmente la acercará lo suficiente como para entrar en contacto con la fibra.

En contraste, la difusión es típicamente muy eficiente para partículas menores de 0.1 µm. Los movimientos aleatorios de las moléculas de aire chocan con estas partículas muy pequeñas y hacen que se transporten a través de las líneas de corriente hasta que entren en contacto con una fibra.

Debido a los diversos mecanismos por los cuales se produce la filtración de partículas, las partículas más pequeñas no suelen ser las más difíciles de filtrar. La mayoría de los filtros de partículas tienen una región de menor eficiencia de filtración en algún lugar entre 0.05-0.5 µm.<sup>1</sup> Las partículas en este rango son lo suficientemente grandes como para ser empujadas de manera menos efectiva por difusión, pero lo suficientemente pequeñas como para ser capturadas de manera menos efectiva por intercepción o impactación. El tamaño de partícula más penetrante (MPPS) dependerá del medio filtrante, el flujo de aire y la carga electrostática en la partícula. Los filtros que usan atracción electrostática pueden tener un MPPS desplazado a un rango de tamaño ligeramente más pequeño.

Las eficiencias de filtración de seis respiradores de pieza facial filtrante N95 de EE. UU. disponibles en el mercado se probaron por 3M, los resultados se muestran en el lado izquierdo de la Figura 1. (Investigaciones anteriores han demostrado que para los productos 3M, los respiradores europeos FFP2 tienen una eficiencia de filtración equivalente o mejor en pruebas representativas en entornos de atención de la salud.) Las eficiencias de filtración promedio se muestran en función de partículas de cloruro de sodio de diferentes tamaños a una velocidad de flujo de 85 litros por minuto.

**Figure 1.** Eficiencia promedio de filtración para seis respiradores N95 \* (a la izquierda), y distribución del tamaño de los núcleos de gotitas de un estornudo (a la derecha).



\* Data generada en 2006

Si bien hubo variabilidad entre diferentes muestras del mismo modelo de respirador, y entre diferentes modelos, el MPPS incluyó partículas con un diámetro entre 0.04 y 0.1  $\mu\text{m}$ . Como se ve en la Figura 1, las partículas que son más pequeñas o más grandes que las MPPS se capturan con mayor eficiencia de filtración. La filtración por difusión (más notable para partículas menores de 0.1  $\mu\text{m}$ ) en realidad aumenta a medida que disminuye el tamaño de partícula. Otra investigación ha confirmado que la eficiencia del filtro aumenta con la disminución del tamaño de partícula, incluso para partículas tan pequeñas como 0.003  $\mu\text{m}$  (mucho más pequeñas que la del virus).<sup>22</sup>

Una distribución del tamaño de un estornudo se muestra en el lado derecho de la Figura 1.<sup>23</sup> Cabe señalar que la mayoría de los núcleos de gotas son más grandes que el MPPS. En otras palabras, los núcleos de gotas que pueden contener microorganismos serán filtrados con alta eficiencia por estos respiradores.

Las afirmaciones de filtración, especialmente con respecto a los bioaerosoles, pueden ser confusas. Para ayudar a maximizar el nivel de protección, asegúrese de usar un respirador que haya sido probado y aprobado por todas las regulaciones locales aplicables. Y como se mencionó anteriormente, la eficiencia de filtración es solo uno de los componentes requeridos que debe considerarse al seleccionar y usar un respirador.

Una pregunta a menudo expresada es si los aerosoles biológicos son eliminados por los filtros de respiración de la misma manera que los aerosoles no biológicos. Debido a las preocupaciones sobre la eficacia de los filtros respiratorios para *Mycobacterium tuberculosis* (TB), se han realizado muchos estudios utilizando bioaerosoles. Estas evaluaciones de filtro se realizaron en una variedad de condiciones de prueba (flujo, humedad), especies biológicas que representan varias formas (esferas, varilla y forma de varilla / esfera) y tamaños, niveles de rendimiento del filtro y medios filtrantes variables (mecánico y electret; polipropileno y fibra de vidrio). Estos experimentos<sup>24-29</sup> no encontraron diferencias significativas en la filtración de aerosoles biológicos y aerosoles no biológicos con propiedades físicas similares; en otras palabras, la eficiencia de filtración se basa en el tamaño de la partícula más que en la naturaleza de origen de la partícula.<sup>30-33</sup>

Se encontró que las partículas esféricas son más penetrantes que las partículas en forma de barra con un diámetro aerodinámico equivalente en un rango de tamaños de partículas. Los estudios en los que los investigadores cuestionaron los respiradores de pieza facial filtrante N95 y P100 con certificación NIOSH y los filtros de cartuchos con aerosoles de virus viables, incluidos los aerosoles contra la influenza H1N1, indicaron que los respiradores capturan la influenza H1N1 viable y otros aerosoles de virus, tanto como o mejor que su clasificación N95 o P100 respectiva.<sup>30-31</sup> Otros estudios han investigado la eficiencia de filtración de los filtros de respiradores desafiados con partículas de tamaño nanométrico. Estos estudios han encontrado que los respiradores certificados por NIOSH muestran eficiencias de filtración similares a las que se esperarían según su categoría de aprobación.<sup>34,35</sup> Cuando las penetraciones han excedido ligeramente el 5%, los resultados no fueron estadísticamente significativamente superiores al 5%.<sup>35</sup>

## Supervivencia de microorganismos en los filtros

Otra área de interés es con respecto a la supervivencia de microorganismos en los filtros del respirador. Esto podría afectar los procedimientos de almacenamiento y manipulación. Se han realizado varios estudios sobre la supervivencia en los filtros. Se han estudiado más de 18 tipos de filtros de respirador y cinco máscaras quirúrgicas utilizando varios tipos de microorganismos, seguido de almacenamiento a diversas humedades.<sup>36-40</sup> Los filtros se cargaron típicamente con los microorganismos a concentraciones experimentales que fueron más altas de lo que se esperaba en la mayoría de los entornos de trabajo.

Los filtros de polipropileno utilizados en estos estudios luego se verificaron para la supervivencia de microorganismos que van desde inmediatamente después de la carga hasta 28 días después, dependiendo del experimento. Estos estudios encontraron que había organismos sobrevivientes inmediatamente después de la carga y que sobrevivieron durante períodos de tiempo variables dependiendo de las condiciones de almacenamiento del estudio. Por lo general, el almacenamiento en condiciones de alta humedad fue el más favorable para la supervivencia a largo plazo. Sin embargo, estas condiciones de almacenamiento no son típicas de las prácticas de almacenamiento de respiradores en la mayoría de los programas de respiradores. El almacenamiento de las piezas faciales filtrantes utilizadas contra bioaerosoles en bolsas de plástico con cierre puede ser inapropiado, ya que los filtros pueden estar húmedos por el uso y el almacenamiento en plástico mantendrá el nivel de humedad alto.

Uno de estos estudios buscó la migración del organismo hacia el interior del respirador de pieza facial filtrante y concluyó que los respiradores pueden reutilizarse con el tiempo con poco riesgo de contaminación interna, incluso después de una semana, siempre que el respirador se maneje y almacene cuidadosamente a través de los componentes sin filtro, p. ej., correas).<sup>40</sup> Los investigadores consideraron que cualquier contaminación interna causada por bacterias ambientales se debía a la manipulación (extracción de la bolsa a la muestra)

Un estudio analizó dos filtros de alta eficiencia con porcentajes variables de celulosa.<sup>39</sup> Estos filtros se inocularon con *Stachybotrys atra* y se almacenaron a una humedad relativa (HR) de hasta el 100% durante 86 días. *S. atra* creció y produjo toxinas en estos filtros de celulosa en condiciones de alta HR. Nuevamente, estas condiciones no son típicas durante el uso y almacenamiento de la mayoría de los respiradores normales.

Estas inquietudes han llevado a algunos a afirmar que un filtro tradicional sin un recubrimiento de nanopartículas de biocidas se convertiría en una crianza de cultivo para un virus o agente bacteriano. Los estudios mencionados anteriormente no respaldan esta afirmación. Si bien puede ser relativamente fácil cargar un filtro con un biocida, determinar su eficacia es más difícil. Se debe hacer un examen minucioso de esta afirmación. Las afirmaciones a menudo se relacionan con la protección del producto, como el deterioro microbiano en lugar de la protección del usuario. Muchos países requieren que las afirmaciones de producto sobre eficacia de biocidas para proteger al usuario deben cumplir con las regulaciones locales. En los Estados Unidos, las afirmaciones están reguladas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). En Europa, las afirmaciones deben cumplir con el Reglamento sobre productos biocidas (UE) (528/2012). Si las afirmaciones no han sido aprobados o no cumplen, pueden ser inapropiados. Se ha realizado muy poca investigación revisada por pares sobre respiradores que actualmente afirman tener propiedades antimicrobianas.

Una investigación de respiradores que incorporan medios filtrantes tratados con antimicrobianos descubrió que no había detección o efecto en la viabilidad de las partículas penetrantes.<sup>41</sup> Otro estudio encontró una diferencia insignificante en las fracciones de los organismos sobrevivientes capturados en los filtros no tratados y en los filtros tratados con yodo y condiciones ambientales similares.<sup>42</sup>

Tener el filtro tratado con un biocida solo puede ser beneficioso para extender la vida útil del filtro. Si bien la mayor parte del virus se depositaría en el filtro como resultado de la respiración a través del filtro, los bioaerosoles también se pueden depositar en las correas, cubierta de la válvula de exhalación (si está presente), clip nasal, etc. Por lo tanto, se debe tener precaución al manipular el respirador y un tratamiento de biocida al filtro puede no prevenir la propagación de la enfermedad por contacto con estos componentes del respirador.

En general, estos estudios sugieren una consideración cuidadosa para el manejo del filtro, la reutilización y la eliminación del respirador, especialmente donde el organismo puede propagarse por contacto. Las medidas de precaución pueden incluir el uso de guantes y lavarse las manos después de manipular el respirador. Para los organismos transmitidos solo por inhalación, el manejo del respirador puede no ser crítico. Un investigador sugirió que podría ser necesario capacitar a los usuarios de respiradores para reconocer cuándo las exposiciones requerirían la disposición inmediata de los respiradores.<sup>41</sup>

### Re-aspersión de microorganismos recolectados en filtros de respirador

Una vez que una partícula se retiene en una fibra, se adherirá a la fibra del filtro debido a las fuerzas de Van der Waals. Por lo tanto, es probable que los filtros sean buenos recolectores de partículas pequeñas. Por el contrario, la re-aspersión es el proceso por el cual cualquier material aéreo depositado en el filtro se puede re-suspender en el aire. Podría suponerse que sucedería si hubiera un flujo de aire alto a través del filtro, como si el usuario tosiera o estornudara mientras usa el respirador. A este respecto, un experimento utilizó tres microorganismos y dos partículas sustitutas [partículas de NaCl y latex Poliestireno (PSL)] de varios rangos de tamaño desde 0.6  $\mu\text{m}$  a 5.10  $\mu\text{m}$ .<sup>43</sup> Se cargaron en tres modelos de respiradores de partículas de pieza facial filtrante. La velocidad de arrastre fue de 300 cm / seg. La re-aspersión fue significativa solo para partículas de prueba más grandes (3 y 5  $\mu\text{m}$ ) en aire seco. No hubo re-aspersión cuando los niveles de HR fueron superiores al 35%. Estos autores concluyeron que la re-aspersión de las bacterias TB recolectadas y otras partículas de un tamaño menor a unas pocas micras es insignificante en las condiciones encontradas en el uso del respirador. También especularon que las conclusiones también eran válidas para otros filtros fibrosos.

En un segundo estudio, los investigadores utilizaron partículas de PSL de 1  $\mu\text{m}$  para simular esporas de ántrax.<sup>44</sup> Los dos modelos de respiradores de partículas de pieza facial filtrante se cargaron con ~ 20 millones de partículas. Después los respiradores se dejaron caer tres pies sobre una superficie dura. La cantidad liberada varió de 0 a 0.5% y la liberación promedio midió 0.16% y 0.29% para los 2 modelos. Si bien esta carga representa un grado de carga mucho mayor que el esperado en entornos de trabajo típicos, este estudio indica que una fracción pequeña pero constante de partículas de 1  $\mu\text{m}$  capturadas por un filtro de respirador puede liberarse al aire. Estos resultados sugieren precaución al manipular y desechar respiradores contaminados con esporas de ántrax.

### Selección y Uso

Cuando se necesita protección respiratoria para exposiciones a bioaerosol, el usuario debe seleccionar un respirador de partículas certificado / aprobado de acuerdo con las recomendaciones de los CDC, la OMS o las agencias locales correspondientes. Recuerde que la clasificación del filtro de partículas NIOSH no incluye fugas de sello facial, solo penetración del filtro. Las normas europeas de rendimiento EN sí incluyen un requisito de rendimiento total de fugas internas, sin embargo, estos no son necesariamente buenos indicadores del rendimiento del producto en el lugar de trabajo. Por lo tanto, se debe considerar el factor de protección asignado para garantizar que la reducción esperada en la exposición respiratoria sea adecuada para su aplicación prevista.

Una vez que se ha seleccionado un respirador, se debe implementar un programa continuo y efectivo de protección respiratoria según lo especificado por las regulaciones locales aplicables. Esto incluye capacitación sobre los riesgos respiratorios, así como las pruebas de ajuste del respirador, mantenimiento, eliminación, etc. Por supuesto, todos los respiradores deben usarse de acuerdo con las instrucciones del usuario aplicables.

## Referencias

1. Hinds, W.C.: *Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles*. New York: John Wiley & Sons, 1999.
2. Lenhart, S.W., Seitz, T., Trout, D. and N. Bollinger. Issues affecting respirator selection for workers exposed to infectious aerosols: emphasis on healthcare settings. *Applied Biosafety*. 9(1):20-36; 2004.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. ACGIH. 2009.
4. Blachere, F.M., Lindsley, W.G., Pearce, T.A., Anderson, S.E., Fisher, M., Khakoo, R., Meade, B.J., Lander, O., Davis, S., Thewlis, R.E., Celik, I., Chen, B., and D.H. Beezhold. Measurement of airborne influenza virus in a hospital emergency department. *Clinical Infectious Diseases*. 48:438-40; 2009.
5. Stelzer-Braid, S., Oliver, B.G., Blazey, A.J., Argent, E., Newson, T.P., Rawlinson, W.D. and E.R. Tovey. 2009. Exhalation of respiratory viruses by breathing, talking and coughing. *Journal of Medical Virology*. 81:1674-1679.
6. Tellier, R. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. *J.R. Soc. Interface*. 6(Suppl 6): S783–S790; 2009.
7. Yu, I.T.S., Wong, T.W., Chiu, Y.L., Lee, N. and Y. Li. Temporal-spatial analysis of Severe Acute Respiratory Syndrome among hospital inpatients. *Clinical Infectious Diseases*. 40:1237-1243; 2005.
8. Yu., I.T.S., Li, Y., Wong, T.W., Tam, W., Chan, A.T., Lee, J.H.W., Leung, D.Y.C., and T. Ho. Evidence of airborne transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome Virus. *The New England Journal of Medicine*. 350(17): 1731-1739; 2004.
9. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: *Bioaerosols Assessment and Control*, J. Macher (ed.), Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1999.
10. EN 132:1999. *Respiratory Protective Devices – Definitions of terms & pictograms*.
11. EN 529:2005. “A Guide to Respiratory Protective Equipment.” 2010. Health and Safety Authority. [www.hsa.ie](http://www.hsa.ie).
12. American Industrial Hygiene Association: *Biosafety Reference Manual*, 2nd ed., P.A. Heinsohn, R.R. Jacobs, and B.A. Concoby (eds.), Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association, 1996.
13. Rengasamy, S., Miller, A., Eimer, B.C. and R.E. Shaffer. Filtration performance of FDA-cleared surgical masks. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*. 26:54-70; 2009.
14. Oberg, T. and L. Brosseau. Surgical mask filter and fit performance. *American Journal of Infection Control*. 36(4):276-282; 2008.
15. MacIntyre, C.R., Wang, Q., Rahman, B., Seale, H., Ridda, I., Gao, Z., Yang, P., Shi, W., Pang, X., Zhang, Y., Moa, A., and D.E. Dwyer. Efficacy of face masks and respirators in preventing upper respiratory tract bacterial colonization and co-infection in hospital healthcare workers. *Preventive Medicine*. 62:1-7; 2014.
16. Cole, E.C. and C.E. Cook: *Characterization of Infectious Aerosols in Health Care Facilities: An aid to Effective Engineering Controls and Preventive Strategies*. *American Journal of Infection Control*. 26:453-64; 1998.
17. Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves, M, Mengersen K, Corbett S, Chao CYH, Li Y, and D. Katoshevski. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J Aerosol Sci* 40:256–269; 2009.
18. Stelzer-Braid, S., Oliver, B.G., Blazey, A.J., Argent, E., Newsome T.P., Rawlinson, W.D., and E. R. Tovey. 2009. Exhalation of Respiratory Viruses by Breathing, Coughing, and Talking. *J Med Virol*. 81:1674-1679; 2009.
19. Centers for Disease Control and Prevention. *Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium Tuberculosis in Health-care Facilities*. *MMWR Morb. Mortal Wkly. Rep.* 43 (RR-1—RR-13); 1994.
20. Fennelly, K.P. et al.: Cough-Generated Aerosols of Mycobacterium Tuberculosis: A New Method to Study Infectiousness. *Am. J. Resp. Crit. Care*. 169:604-609; 2004.
21. Lee, K.W. and B.Y.H. Liu. On the Minimum Efficiency and the Most Penetrating Particle Size for Fibrous Filters. *Air Pollution Control Association Journal*. 30(4): 337-381; 1972.
22. Heim, M., Mullins, B.J., Wild, M., Meyer, J., and G. Kasper: Filtration Efficiency of Aerosol Particles Below 20 Nanometers. *Aerosol Science & Technology* 39(8): 782 –789; 2005.
23. Reist, P.C., *Aerosol Science and Technology*, 2nd Edition. p. 324; 1992.
24. Chen, S.K., Vesley, D., Brosseau, L.M., and J. H. Vincent. Evaluation of single-use masks and respirators for protection of health care workers against mycobacterial aerosols. *Am. J. Infect. Control*. 22:65-74; 1994.

1. Brosseau, L.M., McCullough, N.V. and D. Vesley. Mycobacterial aerosol collection efficiency of respirator and surgical mask filters under varying conditions of flow and humidity. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 12(6):435-445; 1997.
2. McCullough, N.V., Brosseau, L.M. and D. Vesley. Collection of three bacterial aerosols by respirator and surgical mask filters under varying conditions of flow and relative humidity. *Ann. Occup. Hyg.* 41(6):677-690; 1997.
3. Qian, Y., Willeke, K., Grinshpun, S.A., Donnelly, J. and C.C. Coffey. Performance of N95 respirators: Filtration efficiency for airborne microbial and inert particles. *AIHA Journal.* 59:128-132; 1998.
4. Willeke, K., Qian, Y., Donnelly, J., Grinshpun, S.A. and V. Ulevicius. Penetration of airborne microorganisms through a surgical mask and a dust/mist respirator. *AIHA Journal.* 57:348-355; 1996.
5. Richardson, A.W., Eshbaugh, J.P., Hofarce, K.C. and P.D. Gardner. Respirator Filter Efficiency Testing against Particulate and Biological Aerosols under Moderate to High Flow Rates. ECBC-CR-085; 2006.
6. Garner, P.D., Eshbaugh, J.P., Harpest, S.D., Richardson, A.W., and K.C. Hofacre. Viable viral efficiency of N95 and P100 respirator filters at constant and cyclic flow. *J Occ. Environ. Hyg.*10(10):564-572; 2013.
7. Harnish, D.A., Heimbuch, B.K., Husband, M., Lumley, A.E., Kinney, K., Shaffer, R.E., and J.D. Wander. Challenge of N95 filtering facepiece respirators with viable H1N1 influenza aerosols. *Infect. Cont. Hosp. Ep.* 34(5): 494-499; 2013.
8. Balazy, A., M. Taivola, A. Adhikari, S.K. Sivasubramani, T. Reponen and S.A. Grinshpun. Do N95 respirators provide 95% protection level against airborne viruses and how adequate are surgical masks. *Am. J. Infect. Control.* 34:51-57; 2006.
9. Eninger, R.M., Honda, T., Adhikari, A., Heinonen-Tanski, H., Reponen, T. and S. A. Grinshpun. Filter Performance of N99 and N95 Facepiece Respirators against Viruses and Ultrafine Particles. *Ann. Occup. Hyg.* 52(5):385-396; 2008.
10. Rengasamy, S., Eimer, B.C. and R.S. Shaffer. Comparison of Nanoparticle Filtration Performance of NIOSH-approved and CE-Marked Particulate Filtering Facepiece Respirators. *Ann. Occup. Hyg.* 53(2): 117-128; 2009.
11. Rengasamy, S., Verbofsky, R., King, W.P. and R. E. Shaffer. Nanoparticle Penetration through NIOSH-Approved N95 Filtering Facepiece Respirators. *Journal of the International Society for Respiratory Protection.* Vol. 24: 49-59; 2007.
12. Brosseau, L.M., McCullough, N.V., and D. Vesley Bacterial survival on respirator filters and surgical masks. *J. Am. Biol. Saf. Assoc.* 2:232-243; 1997.
13. Reponen, T.A., Wang, Z., Willeke, K. and S.A. Grinshpun. Survival of mycobacteria on N95 personal respirators. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 20:237-241; 1999.
14. Wang, Z., Reponen, T.A. and K. Willeke. Survival of bacteria on respirator filters. *Aerosol Sci. Tech.* 30 (3), pp. 300-308; 1999.
15. Pasanen, A., Nikulin, M., Berg, S. and E. Hintikka. *Stachybotrys atra* corda may produce mycotoxins in respirator filters in humid environments. *Am. Ind. Hyg Assoc. J.* 55:62-65; 1994.
16. Johnson, B., Winters, D.R., Shreeve, T.R. and C.C. Coffey. Respirator filter reuse test using the laboratory simulant mycobacterium tuberculosis (H37RA strain). *J. Am. Biol. Saf. Assoc.* 3:105-116; 1998.
17. Eninger, R.M., Adhikari, A., Reponen, T., and S.A. Grinshpun. Differentiating Between Physical and Viable Penetrations When Challenging Respirator Filters with Bioaerosols. *Clean* 36(7), 615-621; 2008.
18. Wu, C.-Y., Lee, J.-H., Riemenschneider, L, and A.D. Theodore. Evaluation of the performance of iodine-treated biocide filters challenged with bacterial spores and viruses. *Air Force Research Laboratory Report, AFRL-RX-TY-TR-2008-4511; 2008.*
19. Qian, Y., Willeke, K. Grinshpun, S.A and J. Donnelly. Performance of N95 respirators: reaerosolization of bacteria and solid particles. *Am. Ind. Hyg Assoc. J.* 58:876-880; 1997.
20. Kennedy, N.J. and W.C. Hinds. Release of simulated anthrax particles from disposable respirators. *J Occ. Environ. Hyg.*1:7-10; 2004.
21. Holden, K.L. Unmasking leading to a healthcare worker Mycobacterium tuberculosis transmission. *Journal of Hospital Infection.* 100(4): e226-e232, 2018.
22. Memarzadeh F, Manning AP. Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site. *ASHRAE Transactions.* 2002;108(2):3-15

## Personal Safety Division

3M Center, Building 235-2W-70  
St. Paul, MN 55144-1000

3M PSD products are  
occupational use only.

## In United States of America

Technical Service: 1-800-243-4630  
Customer Service: 1-800-328-1667  
[3M.com/workersafety](http://3M.com/workersafety)

## In Canada

Technical Service: 1-800-267-4414  
Customer Service: 1-800-364-3577  
[3M.ca/Safety](http://3M.ca/Safety)

© 3M 2020. All rights reserved.

3M is a trademark of 3M Company and its affiliates. Bitrex is a trademark of Johnson Matthey Public Limited Company. Used under license in Canada. All other trademarks are property of their respective owners.

Please recycle. Release 3, February 2020

