

**INFORME SOBRE FILTROS DE AIRE EN DIFERENTES SECTORES
INDUSTRIALES Y POSIBILIDAD DE ELIMINACIÓN DEL VIRUS
SARS-CoV-2**

Versión: 25/mayo/2020

PARTICIPANTES

- **Grupo de Geoquímica Ambiental e Investigaciones Atmosféricas (EGAR)**, perteneciente al **Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA)**, CSIC
Contribuyen: Xavier Querol, M^a Cruz Minguillón, Teresa Moreno, Andrés Alastuey
- **Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros. (ICTP)**
Contribuye: Daniel López.
- **Grupo de Espectroscopía y Catálisis Industrial** perteneciente al **Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP-CSIC)**.
Contribuye: Miguel A. Bañares.
- **Plataforma de Fabricación Aditiva** coordinada desde **Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC)**.
Contribuye: Carlos Capdevila
- **Grupo de Nuevos Materiales y Nanotecnología** perteneciente al **Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC)**.
Contribuye: José M^a Lagarón
- **Grupo de Modulación de la respuesta inmune por virus** perteneciente al **Centro de Biología Molecular Severo Ochoa. (CBMSO-CSIC)**
Contribuye: Antonio J. Alcamí.
- **Grupo de Superficies y Procesos Avanzados (QFSP) y Diagrama de Equilibrio de Fases**, perteneciente al **Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC)**
Contribuyen: Fausto Rubio, Miguel Ángel Rodríguez.

COLABORADORES

- **Universidad de Córdoba, Departamento de QF y Termodinámica Aplicada. Área de Máquinas y Motores Térmicos.**
Contribuye: Manuel Ruíz de Adana Santiago.
- **IBERIA.**
Contribuyen: Jesús Elices Kiercheben
- **TALGO**
Contribuye: Alfredo González.
- **Jaime Foncillas Roselló, Piloto comercial.**

Este documento contiene 4 secciones principales:

1	SARS-COV-2 EN AMBIENTES INTERIORES. RECOMENDACIONES	4
1.1	Transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea	4
1.2	Casos de contagios en ambientes interiores.....	5
1.3	Influencia de la humedad y temperatura en la transmisión del SARS-CoV-2	8
1.4	Recomendaciones para reducir transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea en ambientes interiores	9
1.5	Recomendaciones para reducir transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea en ambientes interiores. Resumen Morawska et al. (2020) con algunos puntos añadidos.	10
1.6	Resumen de las recomendaciones realizadas por ASHRAE.	13
1.7	Uso de mascarillas.....	16
1.8	Información adicional.....	17
2	SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y FILTRACIÓN EN DIFERENTES SECTORES	18
2.1	Sector aeronáutico	18
2.2	Sector ferroviario	23
2.3	Sector del automóvil	26
2.4	Sector del transporte de pasajeros por carretera (autocares)	28
2.5	Sector comercial (bares, restaurantes, grandes superficies, etc.)	30
2.6	Conclusiones.....	32
3	CAPACIDADES de los INSTITUTOS DEL CSIC.....	34
3.1	IDAEA-CSIC	34
3.2	ITCP-CSIC	35
3.3	ICV-CSIC	38
3.4	ICP - CSIC	39
3.5	IATA-CSIC.....	40
4	REFERENCIAS	41

1 SARS-COV-2 EN AMBIENTES INTERIORES. RECOMENDACIONES

1.1 Transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea

Una parte importante de la comunidad científica internacional está indicando la importancia potencial de la **propagación de SARS-CoV-2 en el aire**, especialmente en **ambientes interiores**. Su transmisión por el aire es equiparada por algunos a la "transmitida como el sarampión" y ocurre especialmente a distancias de inferiores a 2 m, aunque estudios recientes indican que estas distancias pueden ser mayores. El mecanismo de transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea en distancias cortas y medias (hasta varios metros) ha de considerarse, sin que se pueda decir que tenga un impacto superior o inferior a otras vías como la del contacto con boca, nariz y ojos. Por tanto, **se requieren medidas preventivas para mitigar la transmisión aérea** de corto a mediano alcance (Morawska y Cao 2020).

No solamente al estornudar o toser, sino también al respirar y hablar, se emiten microgotas. Estas tienen tamaños de entre 100 a 10000 nm, o incluso más gruesas. Las superiores a 5000 nm se sedimentan rápidamente, mientras que las inferiores se mantienen en suspensión varias horas. Se ha demostrado que el virus presente en aerosoles generados experimentalmente puede **permanecer activo en el aire más de 3 horas** (van Doremalen et al. 2020), o hasta 16 horas según otros estudios (Fears et al., 2020, preprint). Aunque no se ha demostrado que el virus presente en el aire sea infeccioso, se piensa que el transporte de las microgotas y la exposición humana a ellas puede causar infecciones, y los patrones de flujo de aire en edificios que transportan microgotas cargadas de virus pueden favorecerlo también. Por el contrario, una ventilación apropiada puede dispersar el aire cargado en estas microgotas, y disminuir el potencial de infección. Este problema es especialmente grave en ambientes interiores con ventilación inadecuada combinada con altos niveles de ocupación y períodos de exposición prolongados. **En ambientes interiores las posibilidades de infección son 20 veces superiores al exterior**, según un estudio reciente en Japón (Nishiura et al., 2020, preprint). **La exposición se calcula como concentración x tiempo**.

La orientación actual de numerosos organismos internacionales y nacionales para evitar el contagio centrada en lavarse las manos y mantener el distanciamiento social es apropiada pero insuficientes para proteger a la población de microgotas respirables microscópicas portadoras de virus, especialmente en aire ambiente interior.

En **hospitales** las concentraciones en el aire pueden ser superiores a otros ambientes. Un estudio en hospitales en Wuhan durante el episodio de SARS-CoV-2 identificó concentraciones bajas (<3 genomas virales/ m^3) en la fracción < 2500 nm (Liu et al., 2020). Las concentraciones eran superiores en las salas donde el personal sanitario se quita los EPIs (16-42 genomas virales/ m^3), lo cual sugiere la importancia de la resuspensión. Este estudio demuestra que SARS-CoV-2 se detecta en aerosoles de pequeño (250-1000 nm) y mayor (>2500 nm) tamaño, y por tanto el virus viaja asociado a partículas de mayor tamaño que el virión (60-140 nm). Diferentes estudios han encontrado virus en superficies a más de 2-3 metros de pacientes, lo cual confirma la capacidad de transmisión por aire a estas distancias (Liu et al., 2020) (Santarpia et al. 2020, preprint). El personal sanitario sigue las medidas de higiene y está bien capacitado en el uso de dispositivos de protección al realizar procedimientos médicos. Sin

embargo, el número de infecciones y muertes es proporcionalmente muy alto en este grupo ahora, como lo fue durante el brote de SARS de 2003. Es posible que los equipos de protección individual (EPI) hayan sido inadecuados y que no hayan ofrecido protección total contra la inhalación de microgotas respirables. Sin embargo, una ventilación adecuada de espacios también puede contribuir a disminuir las infecciones.

1.2 Casos de contagios en ambientes interiores.

A continuación, se describen varios estudios de contagios en ambientes interiores, que ponen de manifiesto la necesidad del uso de mascarillas en estos ambientes.

ENSAYO CORAL

En un caso reciente de una coral en Estados Unidos que tomó todas las precauciones posibles para evitar infecciones por las vías aceptadas actualmente como las más plausibles, resultó en 45 personas infectadas de los 60 miembros de la coral. Las autoridades sanitarias del Estado de Washington creen que la explicación es la transmisión del virus por el aire.

RESTAURANTE

Un artículo reciente (Li et al., 2020, preprint) sobre la infección de tres familias muestra la infección de 5 de los 10 miembros con SARS-CoV-2 tras haber almorzado en un **restaurante** en Guanzhou durante el fin de año chino, mientras que ninguno de los 68 clientes de las 15 mesas restantes, ni de los camareros se infectaron. La tasa de ventilación era de 0.75–1.04 L/s por persona y no hubo contacto cercano, de manera que los resultados muestran que la propagación se produjo por aerosoles cargados de virus exhalados debido a una ventilación deficiente (1 L/s en vez de los 8–10 L/s por persona recomendado por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Standard 62.1, 2004) para espacios públicos, a la mala colocación de los aires acondicionados que crearon un bucle de aire entre una mesa con un infectado y las otras 2; y al sistema de recirculación de aire sin toma de aire exterior. Este mismo evento ha sido estudiado por otros autores (Lu et al., 2020).

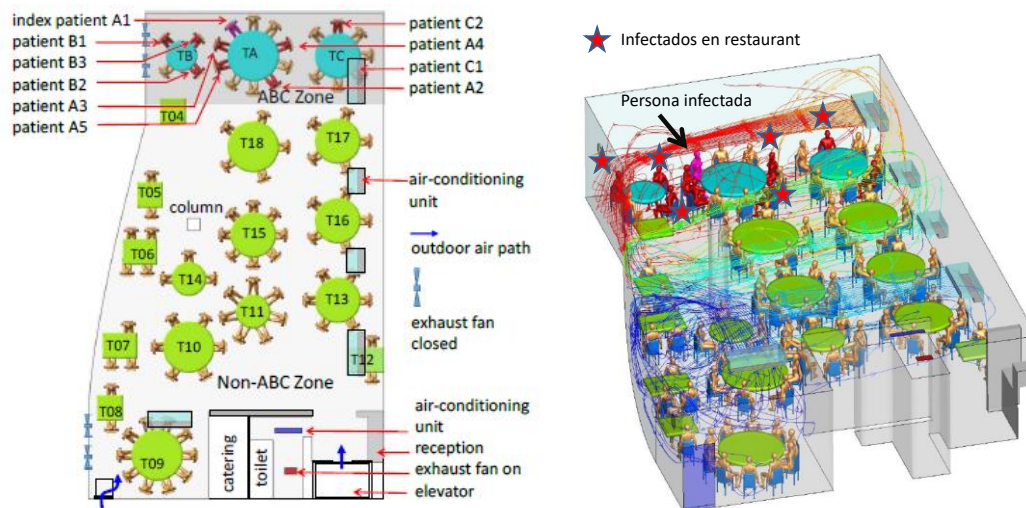


Figura 1.1. Simulación de la infección de 5 personas por SARS-CoV-2 en un restaurante por propagación de aerosoles cargados con virus debido a mala ventilación y recirculación (Li et al., 2020, preprint).

TRANSPORTE PÚBLICO

Un estudio científico en fase preprint y, por tanto, en revisión (Shen et al. 2020, preprint) indica que el día 19 de junio de 2020, una budista laica de 64 años infectada, junto con otros 293 budistas laicos asistieron a un evento de adoración al aire libre celebrado en un templo en la ciudad de Ningbo, provincia de Zhejiang. Este paciente y otros 66 pasajeros más el conductor tomaron un Bus#2 al evento (Figura 1.2). También, otro autobús, Bus #1, similar, llevó a 59 pasajeros más el conductor al mismo evento. Ambos autobuses tenían un sistema de aire acondicionado en modo de recirculación (respiraderos debajo de las ventanas), cuatro ventanas que se pueden abrir (dos a cada lado), y ninguno tenía un inodoro adjunto. De los 68 individuos del Bus#2, 4 pasajeros (incluido el paciente índice) fueron infectados y diagnosticados con SARS-CoV-2 después del evento. Ningún individuo en el Bus#1 fue diagnosticado posteriormente con SARS-CoV-2. De los 172 asistentes restantes (que viajaron por otros medios) solamente 7 resultaron infectados, y en todos los casos habiendo mantenido contacto con la persona originalmente infectada. El riesgo calculado de infección en el Bus#1 11.4% con respecto a todas las personas que asistieron al evento, mientras que en el Bus#2 41.5%. Las tasas de ataque en los autobuses expuestos y no expuestos fueron claramente distintas (34.3% versus 0%) lo que sugiere que la exposición y el entorno en el que tuvo lugar la exposición contribuyeron a este brote. Además, los pasajeros que se sentaron más cerca del caso índice en el BUS#1 expuesto no se infectaron más que aquellos sentados más lejos. Si la transmisión de SARS-CoV-2 ocurriera únicamente a través de contacto cercano o gotas respiratorias durante este brote, el riesgo de SARS-CoV-2 probablemente estaría relacionado con la distancia desde el caso índice y las zonas de "alto riesgo" en el autobús tendrían más casos infectados. La mayor parte de infectados estaban a más de 5 metros. Concluyen, por tanto, la necesidad de llevar mascarillas en el transporte público y desinfectarse manos con alta frecuencia, y antes y después de viajar.

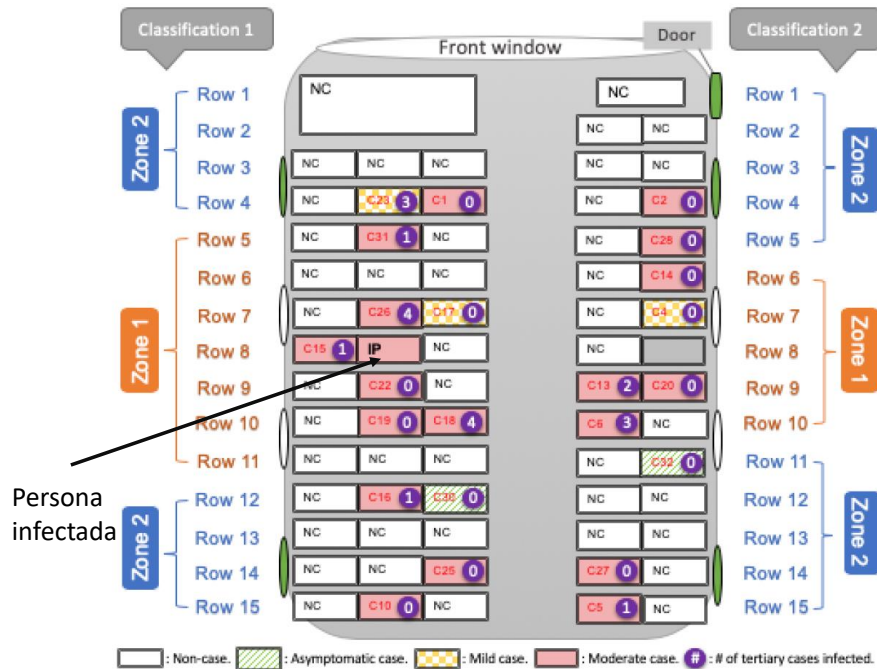


Figura 1.2. Caso de estudio infecciones en autobús (Bus#2) por Shen et al (2020, preprint).

En los años 70 se descubrió que el virus de la gripe estacional se transmitía por el aire por el contagio de viajeros de un **vuelo** que estuvo cuatro horas parado **sin ventilación**, lo que permitió la acumulación del virus en el aire. Lo cual parece indicar también que el sistema de filtrado del aire retiene eficientemente los virus en los aviones.

ESCUELA PÚBLICA

Un estudio científico en fase pre-print (Shen et al., 2020, preprint) describe un brote de infección entre 30 alumnos que asistieron a un taller, del 12 al 14 de enero de 2020 en dos salas de conferencias, en la ciudad de Hangzhou, provincia de Zhejiang.

Una aprendiz de 45 años de Wuhan fue la fuente de infección. El primer día de capacitación se realizó en una sala de conferencias de 49m² y los dos días restantes de capacitación se realizaron en una sala de conferencias de 75m². Ambas salas de conferencias eran espacios cerrados con aires acondicionados centrales en un modo de recirculación interior con su sistema de ventilación encendido automáticamente cada 4h durante 10 min. Cuando estaba encendido, el sistema de ventilación podía intercambiar un cuarto del aire en las habitaciones. Además de la paciente infectada originalmente otros 15 desarrollaron la enfermedad.

En conclusión, se obtuvo un índice de ataque del 48%, lo cual es mucho mayor que en otros estudios similares, y ello se atribuyó a un déficit de circulación del aire, ya que se conectaba solo cada 4 h y durante 10 min.

CLASES DE FITNESS

Un estudio (Jang et al., 2020) determinó que durante 24 días en Cheonan, Corea del Sur, 112 personas se infectaron con SARS-CoV-2 durante sus clases de baile en 12 instalaciones deportivas. El estudio concluye que el ejercicio físico intenso en instalaciones deportivas densamente pobladas podría aumentar el riesgo de infección.

CENTRO DE ATENCIÓN TELEFÓNICA (CALL CENTER)

Un estudio (Park et al., 2020) describe la epidemiología de un brote de COVID-19 en un centro de atención telefónica en Corea del Sur. De 1.143 personas que se sometieron a la prueba de COVID-19, un total de 97 (8,5%, IC del 95%: 7,0% a 10,3%) tenían casos confirmados. De estos, 94 trabajaban en un centro de llamadas del piso 11 con 216 empleados, lo que se traduce en una tasa de ataque del 43.5% (IC 95% 36.9% –50.4%). La tasa de ataque secundario en el hogar entre pacientes sintomáticos fue del 16,2% (IC del 95%: 11,6% - 22,0%). De las 97 personas con COVID-19 confirmado, solo 4 (1.9%) permanecieron asintomáticas dentro de los 14 días de la cuarentena, y ninguno de sus contactos domésticos adquirió infecciones secundarias. El estudio concluye que el rastreo extenso de contactos, la prueba de todos los contactos y la cuarentena temprana bloquearon la transmisión adicional y podrían ser efectivos para contener brotes rápidos en entornos de trabajo abarrotados.

1.3 Influencia de la humedad y temperatura en la transmisión del SARS-CoV-2

Según se indica en el informe presentado por el Instituto de la Salud Carlos III el pasado día 15 de abril de 2020, no existe una relación directa entre la transmisibilidad del virus con la temperatura y la humedad. Únicamente hay estudios preliminares sin evidencias científicas suficientes. A continuación, se presenta un resumen de dicho informe.

“Una de las hipótesis con las que está trabajando la comunidad científica es la opción de que el coronavirus SARS-CoV-2 sea menos transmisible en presencia de un clima cálido y húmedo.

Por el momento, se trata sólo de una hipótesis, ya que, aunque hay estudios preliminares que apuntan en esa dirección, aún no existen evidencias científicas suficientes para afirmar que el virus sobrevive peor con el calor y que la pandemia podría atenuarse con la llegada de temperaturas más altas o con un clima más húmedo.

Se sabe que algunos virus de tipo respiratorio, como el de la gripe, se propagan más durante los meses de clima frío, y que, por lo general, los demás coronavirus conocidos sobreviven peor a temperaturas más altas y mayor humedad que en entornos más fríos o más secos.

Hay algunas razones que sustentan la estacionalidad de los virus en regiones templadas, pero aún falta información sobre si esta teoría puede aplicarse al nuevo coronavirus. Además, hay datos ecológicos que podrían explicar estas hipótesis, como la diferente velocidad de propagación entre zonas geográficas con factores climáticos diferentes. Investigaciones previas en virus similares

sugieren una disminución en la intensidad de transmisión asociada a un aumento en la temperatura y la humedad relativa.

Algunos estudios preliminares realizados sobre patrones climáticos en relación con el SARS-CoV-2 apoyarían esta posibilidad; pero, por otro lado, el nuevo coronavirus se está extendiendo de manera eficaz por todo el mundo, incluso en climas cálidos y húmedos, por lo que aún es pronto para considerar la estacionalidad climática como un factor clave de su transmisibilidad.

En definitiva, la falta de conocimiento completo del SARS-CoV-2 y el carácter preliminar de los estudios virológicos y epidemiológicos recomiendan prudencia ante una hipotética menor transmisión con climas cálidos y húmedos. Hacen falta más estudios sobre el impacto de la variabilidad climática, la contaminación del aire, los patrones de relación social, la susceptibilidad de la población y la vigilancia de infecciones respiratorias, entre otras cuestiones, para considerar una posible predicción del riesgo de desarrollar la enfermedad basada en información climática. “

<http://hdl.handle.net/20.500.12105/9635>

1.4 Recomendaciones para reducir transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea en ambientes interiores

Para reducir el mayor riesgo de transmisión por aire en ambientes cerrados, y particularmente aquellos con alta ocupación y ventilación inadecuada en relación con el número de ocupantes, incluimos las siguientes medidas:

1. **Ventilación suficiente y efectiva** (incrementando aire nuevo/recirculado) particularmente en edificios públicos, entornos de trabajo, escuelas, hospitales y residencias.
2. Complementar la ventilación con **desinfección del aire, como ultra-filtración de aire, germicidas y luz ultravioleta, cuando el sistema lo permita.**
3. Mantener la **distancia de seguridad** y evitar el hacinamiento.
4. Obligatoriedad de **mascarillas eficaces en espacios públicos** para reducir la transmisión del virus al medio ambiente. Ver el informe de IDAEA-CSIC al respecto, pues hay diferentes tipos y de muy diferentes grados de protección.
5. Colocar dispositivos con productos para **desinfección de manos**. Los guantes en el sector sanitario son adecuados, pero para uso público tienen muchos inconvenientes.
6. **Desinfectar superficies**, teniendo en cuenta el tiempo de duración del virus sobre diferentes superficies, 24 h en papel y cartón hasta varios días en otros materiales, teniendo en cuenta que ello es a temperatura ambiente. En zonas frías el virus permanece activo durante más tiempo.
7. Consideraciones especiales para el **transporte público**:
 - Utilizar mascarillas de manera obligatoria e introducir desinfectantes de manos en estaciones y vehículos (la barra de escaleras mecánicas y los asideros en los vagones y autobuses son un foco de infección grande). Leung et al (2020) demuestran que las máscaras quirúrgicas pueden reducir eficazmente la emisión de partículas del virus de la *Influenza* (gripe) al medio ambiente en gotitas respiratorias, pero no en aerosoles

....., pero también que la eficacia de las máscaras quirúrgicas para reducir la detección de coronavirus y copias virales en gotitas respiratorias grandes y en aerosoles. Esto tiene implicaciones importantes para el control de COVID-19, lo que sugiere que las personas enfermas podrían usar máscaras faciales quirúrgicas para reducir la transmisión por coronavirus (COVID-19).

- Garantizar distancias mínimas entre pasajeros incrementando mucho la frecuencia de paso.
- Incrementar la tasa de ventilación (aire exterior/aire recirculado) en buses y vagones equipando el aire acondicionado con filtros optimizados.
- Desinfectar los vehículos con frecuencia apropiada.
- Promocionar el transporte activo (andar y bici), seleccionando calles y transformándolas para este uso exclusivo.

1.5 Recomendaciones para reducir transmisión de SARS-CoV-2 por vía aérea en ambientes interiores. Resumen Morawska et al. (2020) con algunos puntos añadidos.

A continuación, exponemos un resumen de un artículo en prensa en Environment International en el que hemos participado en IDAEA-CSIC sobre recomendaciones para maximizar la protección de la población contra la propagación en el aire del SARS-CoV-2 y cualquier otra microgota pequeña que contenga virus en el aire. El artículo se centra en la **ventilación** y no incluye recomendaciones sobre el uso de EPIs. Está firmado por 35 investigadores de todo el mundo (Morawska et al., 2020). Además, se añaden algunos comentarios sobre transporte público.

Las siguientes recomendaciones se centran en **ambientes interiores**, principalmente en los **edificios públicos, incluidos los hospitales**. En casas y apartamentos residenciales, las prácticas normales deben también aplicarse. Estas son segregar a las personas infectadas, abrir ventanas y puertas y usar dispositivos portátiles de limpieza de aire cuando sea práctico para garantizar un aire interior saludable.

Las medidas de protección de ventilación en el aire que ya existen pueden mejorarse fácilmente a un costo relativamente bajo para reducir la cantidad de infecciones. Las opciones discutidas a continuación siempre deben implementarse en combinación con otras medidas, como el lavado de manos y el uso de EPIs, para reducir la infección. Esta revisión se centra en la ingeniería de control del aire interior según Figura 1.3.

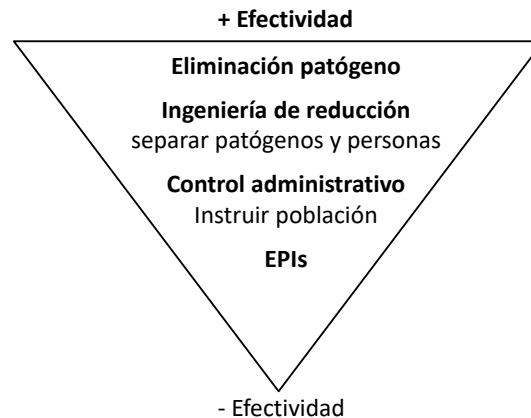


Figura 1.3. Pirámide invertida en la efectividad del control de infecciones adaptada de los CDC de EE. UU. (CDC 2015).

i) La ventilación puede reducir la transmisión vírica en el aire

El flujo y distribución (como, por ejemplo, la colocación de los respiraderos de suministro y salida de aire) adecuados de la ventilación aseguran una dilución adecuada. Se ha de evitar la acumulación de contaminación viral, evitando barreras locales para ventilar, por ejemplo, donde se usan particiones o cortinas para privacidad o procedimientos médicos. Si estas barreras no son solo temporales, pueden ser necesarias medidas de distribución de aire secundaria o auxiliar. Phiri (2014) es un ejemplo de buenas prácticas de ventilación en entornos hospitalarios, como parte de las medidas diarias y de emergencia para proteger contra la transmisión de microgotas y contactos (Phiri 2014).

Salas de determinados hospitales, restaurantes, pequeñas tiendas y supermercados tienen ventilación natural. En estas, si el paso del flujo de aire está obstruido (por ejemplo, al cerrar ventanas y puertas), la concentración de patógenos en el aire puede aumentar, lo que aumenta el riesgo de transmisión e infección en el aire (Gilkesson et al. 2013). Los conceptos de ventilación natural se aplican a las instalaciones de salud en países desarrollados y con recursos limitados. El diseño, la operación y el mantenimiento de las instalaciones con ventilación natural no es sencillo, y hay una guía completa disponible (OMS 2009).

En edificios públicos y otros espacios compartidos, como tiendas, oficinas, escuelas, jardines de infancia, bibliotecas, restaurantes, cruceros, ascensores, salas de conferencias o transporte público, los sistemas de ventilación pueden variar desde sistemas mecánicos diseñados específicamente hasta naturales. En la mayoría de estos entornos, las tasas de ventilación son significativamente más bajas que en los hospitales por varias razones, incluida la limitación del flujo de aire para ahorrar energía y costos. Por lo tanto, se ha de **incrementar** en estos **las tasas de renovación de aire**, y tener también aquí en cuenta las posibles barreras físicas que puedan dificultar ventilación.

Algunas salas hospitalarias pueden estar presurizadas y protegidas respecto al aire interior, pero se ha de asegurar que hay una renovación rápida del aire de la sala si puede albergar personas infectadas.

ii) Las tasas de ventilación deben incrementarse

Las tasas deben incrementarse y tener en cuenta el control de temperatura, humedad relativa, distribución y dirección del flujo de aire. Hay guías ASHRAE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), REHVA, SHASE (Sociedad de Ingenieros de Calefacción, Aire Acondicionado y Sanitarios de Japón) que se acaban de actualizar para abordar la propagación de SARS-CoV-2 (ASHRAE 2020a, b; REHVA 2020; SHASE 2020). ASHRAE (2004) propone un flujo para lugares públicos de mínimo 8-10 L/s por persona. Un ejemplo es la modificación del sistema de ventilación de una sala de hospital para crear una sala de aislamiento de presión negativa.

Para edificios públicos con ventilación natural, particularmente en climas fríos, puede ser necesario proporcionar calefacción adicional en algunos edificios para mantener el confort térmico, particularmente donde los ocupantes son vulnerables.

iii) Evitar o disminuir la recirculación de aire cuando sea posible

La recirculación completa de aire (es decir sin tomar aire exterior en absoluto) sin estar equipada con sistemas de filtración y/o desinfección adecuados puede favorecer la infección. Los filtros de partículas y equipos de desinfección de aire recirculado pueden reducir drásticamente este riesgo, pero deben diseñarse a propósito para controlar el riesgo de infección en el aire y necesitan un servicio regular para mantener su eficacia. Muchos sistemas están diseñados para filtros destinados a eliminar partículas más grandes que pueden afectar el funcionamiento del equipo y que no son efectivas para las (o gran parte de) respirables. Cuando no es posible evitar la recirculación, se aconseja tomar o incrementar la proporción de aire externo fresco.

En muchos entornos de atención médica, la recirculación de aire no está permitida, aunque es una práctica común en la mayoría de los edificios públicos para reducir el uso de energía.

iv) Limpieza y desinfección del aire

Los dispositivos de limpieza y desinfección del aire pueden ser muy beneficiosos, incluso necesarios si hay recirculación. En entornos donde es difícil mejorar la ventilación o es necesaria la recirculación, la aplicación de sistemas de tratado y desinfección del aire, filtros HEPA, germicidas y ultravioletas pueden reducir drásticamente la probabilidad de infección. Se ha demostrado que la radiación ultravioleta es efectiva contra un conjunto de microorganismos, incluidos los coronavirus (Walker et al. 2007, entre otros muchos). Se ha estimado que la aplicación masiva de ultravioleta puede reducir el riesgo de infección en una cantidad equivalente a duplicar la tasa de ventilación de una sala (Noakes et al. 2015). Estos sistemas pueden ser adecuados en entornos muy concurridos y con poca ventilación. También puede aplicarse el sistema a los conductos de ventilación, pero son menos beneficiosos contra la transmisión de persona a persona.

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de EE. UU. Han aprobado los sistemas de conductos superiores e interiores para su uso en el control de la transmisión de la tuberculosis como complemento de la filtración HEPA (CDC / NIOSH 2009).

v) Minimizar el número de personas dentro del mismo ambiente interior en una epidemia

Mantener una alta tasa de ventilación/m³ por persona/m². Ver medidas especiales para el transporte público más arriba (sobre todo, incrementar frecuencia y favorecer transporte activo, para disminuir densidad de viajeros).

vi) Transporte público

Las mascarillas y distanciamiento deben ser obligatorios. Leung et al (2020) obtuvieron una alta eficacia de las máscaras quirúrgicas para reducir la detección de coronavirus y copias virales en gotitas respiratorias grandes y en aerosoles. Esto tiene implicaciones importantes para el control de COVID-19, lo que sugiere que las personas enfermas podrían usar máscaras faciales quirúrgicas para reducir la transmisión por coronavirus (COVID-19). Además, optimizaciones del sistema de acondicionamiento de aire pueden ayudar a reducir más el riesgo de infección. La filtración y tratamiento de aire puede ser importante, pero también el incrementar la proporción de aire no recirculado (limitando tanto la filtración, tratamiento como aire no recirculado por el sistema del autobús o vagón). En el estudio del proyecto IMPROVE (<http://improve-life.eu/>) se vio que los filtros de los equipos de aire acondicionado mejoran la calidad del aire en el interior de los vagones reteniendo partículas gruesas, pero para partículas finas y ultrafinas (como los virus) no son tan eficientes. Para vehículos en explotación se pueden estudiar diferentes filtros para incrementar eficiencia, pero teniendo en cuenta límites del sistema de aire acondicionado; para futuros vehículos se podrían diseñar teniendo en cuenta estos aspectos. Se debe en cualquier caso limpiar, esterilizar o reemplazar regularmente partes del sistema centralizado de aire acondicionado (incluidos los filtros) y la ventilación y funcionar con una proporción importante de aire fresco cuando sea posible. También es posible equipar las unidades de aire acondicionado con tubos de luz ultravioleta para lograr la función de esterilización. De esta manera, cuando el aire se bombea al interior del vehículo, pasa a través del filtro de aire y la lámpara UV esterilizándose (<https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/97966/recommendations-on-the-use-of-tram-air-conditioners-during-an-epidemic/>). La colocación de filtros para reducir hasta un 95% de material particulado en el interior de minibuses que transportan enfermos ya se está produciendo por ejemplo en la ciudad de Londres (<https://airlabs.com/2020/04/16/hats-press-release/>), donde además el transporte en autobús es en este momento gratis, evitando el contacto con máquinas expendedoras, y se fuerza a los pasajeros a subir por la puerta media o trasera para proteger a los conductores.

Véanse el conjunto de medidas adicionales que se expone en la recomendación 7 anterior.

1.6 Resumen de las recomendaciones realizadas por ASHRAE.

ASHRAE es la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. A continuación, se resume el documento de Posicionamiento de ASHRAE sobre AEROSOL INFECCIOSOS publicado el 14 abril de 2020. Disponible en <https://www.ashrae.org/technical-resources/resources>.

- Ni siquiera el sistema de HVAC más perfeccionado puede controlar todos los caudales de aire y prevenir completamente la propagación de un aerosol infeccioso o la



transmisión de una enfermedad por medio de gotículas o aerosoles. **El impacto del sistema de HVAC dependerá de la ubicación y fuerza de la fuente, de la distribución del aerosol liberado, del tamaño de las gotículas, de la distribución del aire, de la temperatura, de la humedad relativa y de la filtración.**

- Las estrategias de prevención y mitigación de riesgos requieren la **colaboración** entre profesionales del diseño, propiedades, personal O&M, higienistas industriales y especialistas en la prevención de infecciones.
- La ventilación con patrones efectivos de flujos de aire es una estrategia principal para el control de enfermedades infecciosas a través de la dilución del aire ambiental alrededor de una fuente y la retirada de agentes infecciosos (CDC 2005).
- La **filtración de partículas de alta eficiencia** en los sistemas centralizados de HVAC reduce la carga aérea de partículas infecciosas (Azimi and Stephens 2013). Esta estrategia disminuye el transporte de agentes infecciosos de una zona a otra, cuando éstas comparten el mismo sistema centralizado de HVAC a través de la impulsión de aire recirculado.
- Tanto los **diferenciales de presión de sala** o habitación como el **flujo direccional de aire** son factores importantes para controlar el caudal de aire entre zonas de un edificio (CDC 2005; Siegel et al. 2007). Algunos diseños para salas de aislamiento de infecciones por vía aérea ("Airborne Infection Isolation Rooms, AIIR's) incorporan una dilución suplementaria o extracción/ventilación de captura (CDC 2005). Los criterios para las salas de aislamiento AIIR difieren sustancialmente entre regiones y países, incluyendo la impulsión de aire a las antecámaras, la extracción de la sala y los volúmenes requeridos de aire de ventilación (Fusco et al. 2012; Subhash et al. 2013). Una antecámara con una adecuada configuración y funcionamiento es un medio eficaz para mantener los diferenciales de presión y crear contención en las habitaciones del hospital (Siegel et al. 2007; Mousavi et al. 2019). Cuando un riesgo significativo de transmisión de aerosoles ha sido identificado mediante evaluaciones de riesgo de control de infecciones, el diseño de las salas de aislamiento AIIR debe incluir antecámaras.
- **NOTA sobre párrafo anterior (no contenida en documento ASHRAE):** en España las UCIs están diseñadas para trabajar con sobrepresión. Solo algunos hospitales más nuevos tienen algunas UCIs con opción de elegir el sistema de ventilación para trabajar con sobrepresión o depresión según el tipo de pacientes para situaciones como la actual.
- Todo el **espectro ultravioleta (UV)** puede matar o inactivar microorganismos, siendo 265 nm la longitud de onda óptima. La energía UV-C no penetra profundamente en el tejido humano, pero puede penetrar en las superficies más exteriores de los ojos y de la piel, siendo los ojos más susceptibles a los daños. Por lo tanto, el blindaje es necesario para prevenir la exposición directa a los ojos. Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) han aprobado la radiación UVGI como complemento a la filtración para la reducción del riesgo de tuberculosis y han publicado una directriz para su aplicación (CDC 2005, 2009).
- Técnicas avanzadas de análisis de la fluidodinámica computacional (CFD) pueden predecir los patrones de flujos de aire y las probables trayectorias de flujo de



contaminantes aerotransportados en un espacio (Khankari 2016, 2018a, 2018b, 2018c).

- El **control de la humedad relativa** reduce la transmisión de ciertos organismos presentes en aerosoles infecciosos, incluyendo ciertas cepas de gripe, este documento de posicionamiento anima a los profesionales del diseño a prestar especial atención a la consideración de la temperatura y de la humedad relativa
- Mousavi et al. (2019) sugiere que la supervivencia más desfavorable para microorganismos se produce con una humedad relativa entre el 40 y 60%. Taylor and Tasi (2018) identifican que la humedad relativa juega un papel importante en las infecciones de pacientes. Estos estudios muestran que humedades relativas por debajo del 40% se asocian con 3 factores que incrementan las infecciones. 1. los aerosoles infecciosos emitidos desde un huésped primario se contraen rápidamente para transformarse en núcleos de gotículas y esos patógenos de infección todavía latentes permanecen en suspensión en el aire y son capaces de propagar la infección. 2. muchos virus y bacterias son anhidroresistentes (Goffau et al.2009; Stone et al.2016) y realmente han incrementado la viabilidad en condiciones de baja humedad relativa. 3. los mecanismos a través de los que la humedad relativa ambiente está por debajo del 40% afecta a las barreras de las membranas mucosas y otras etapas en sistemas de inmunoprotección (Kudo et al.2019).

Estrategias específicas de HVAC:

- Filtración mejorada (filtros de más alta eficiencia MERV, “minimum efficiency reporting value” sobre requisitos mínimos en espacios de alto riesgo y/o densa ocupación).
- Dispositivos de radiación UVGI en la parte superior de la sala (apoyados con ventiladores de sala si es posible) como suplemento al caudal de impulsión de aire.
- Ventilación por extracción local para control de fuentes.
- Sistemas de ventilación personalizada para ciertas actividades de alto riesgo.
- Filtros portátiles y autónomos HEPA (“high-efficiency particulate air”)
- Control de temperatura y humedad.
- Revisión de los patrones de flujo de aire que establece el sistema de difusión de aire en el local

Recomendaciones para edificios que no sean de atención sanitaria:

- Incrementar la ventilación con aire exterior (Deshabilitar la demanda controlada de ventilación y abrir las compuertas de aire exterior al 100% en función de las condiciones interiores y exteriores).
- Mejorar la filtración del aire central y de otros sistemas de HVAC a MERV-13 (ASHRAE 2017b) o el máximo nivel de eficiencia alcanzable.
- Mantener operativos los sistemas un mayor número de horas (24/7 si es posible).
- Utilizar adicionalmente en las habitaciones purificadores portátiles de aire provistos de filtros HEPA o de alta eficiencia MERV con consideración a la tasa suministrada de aire limpio (AHAM2015).

- Añadir conductos o climatizadores compactos en la parte superior de la habitación y/o dispositivos portátiles UVGI asociados a los ventiladores de habitación en espacios de alta ocupación.
- Mantener la temperatura y humedad si procede, para reducir posibilidades de infección.
- Bypasear los sistemas de ventilación con recuperación de energía que puedan fugar aire de extracción contaminado al suministro de aire exterior.

1.7 Uso de mascarillas

Existen varios estudios que evalúan la eficacia del uso de mascarillas quirúrgicas en cuanto a la reducción de la emisión de patógenos por parte de la persona que la lleva. Como ejemplo se muestran resultados en la Figura 1.4 (Milton et al., 2013) y Figura 1.5 (Leung et al., 2020).

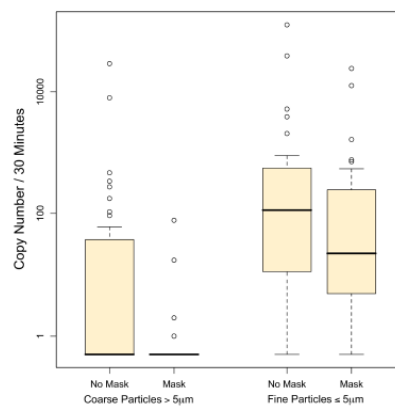


Figura 1.4. Carga vírica en el aire exhalado por pacientes con el virus de la gripe común, en la fracción gruesa (> 5µm) y en la fracción más fina (<5 µm). Valores medidos sin y con mascarilla quirúrgica (Milton et al., 2013).

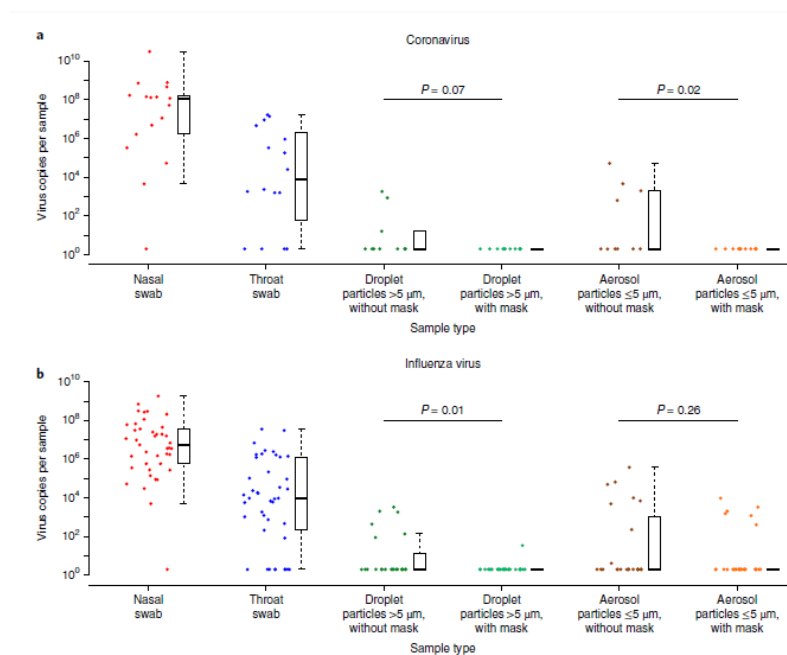


Figura 1.5. Carga vírica en exudado nasal y faríngeo, y en aire exhalado por pacientes con coronavirus o virus de la gripe común, en la fracción gruesa ($>5 \mu\text{m}$) y en la fracción más fina ($<5 \mu\text{m}$) sin y con mascarilla quirúrgica (Leung et al., 2020).

1.8 Información adicional.

Guía Comparativa de Normas para la Clasificación de los Filtros de Aire.

<https://www.venfilter.es/normativa/guia-comparativa-de-normas-para-la-clasificacion-de-los-filtros-de-aire>

Otras consideraciones.

- Se han de tener en cuenta las interacciones en el suministro de materiales para filtros HEPA y para fabricar EPIs.
- El uso de filtros HEPA es recomendable. Sin embargo, la elevada pérdida de presión que genera provoca un incremento del consumo del ventilador. En muchos casos el ventilador no puede vencer esa pérdida de presión. Por tanto, hay que recomendar el uso de filtros HEPA siempre que lo permita el ventilador del equipo.

2 SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y FILTRACIÓN EN DIFERENTES SECTORES

2.1 Sector aeronáutico

La información que se detalla a continuación se ha extraído parcialmente del documento http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/saglik_birimi/Airbus_Corona.pdf.

Los protocolos de control y mantenimiento se pueden obtener tras solicitud a Airbus si es necesario.

¿Cómo se purifica el aire en un Airbus?

En promedio, todo el aire en las cabinas de aeronaves de Airbus se cambia por completo cada 3 minutos, incluso después de tener en cuenta el aire filtrado y recirculado. Esta es una tasa de flujo mucho más alta que la que la gente experimenta en otros ambientes interiores, y significa que los pasajeros reciben aproximadamente 80 veces más aire del que necesitan para respirar.

En realidad, es muy limpio en comparación con el aire que normalmente respiramos. En todos los aviones modernos, **los pasajeros respiran una mezcla de aire fresco exterior y de aire reciclado**, lo que permite regular la temperatura de la cabina mientras se mantiene un nivel aceptable de humedad. **El aire exterior es** absorbido primero por el motor y pasa a través de sus compresores, lo que conduce a un aumento importante de la temperatura, con dos consecuencias: **todos los microorganismos nocivos son destruidos** y el aire pierde también casi la totalidad de su humedad.

El aire en las cabinas de los aviones Airbus es una mezcla de aire fresco del exterior (>50%) y aire que ha pasado a través de filtros extremadamente eficientes (<50%) que eliminan partículas en el aire hasta con una eficiencia superior al 99.99%. Estos filtros, llamados High-Efficiency Particulate Arrestors (HEPA), retienen los virus con un rendimiento del 99.99% (ver más abajo). Algunos sistemas tienen además incorporados los sistemas foto-catalíticos para reducir olores, eliminar contaminantes gaseosos y actuar de germicida (ver más abajo).

El aire que se suministra a los baños de los aviones, galeras y bodegas de carga no se filtra ni recircula, sino que se expulsa directamente.

El suministro de aire a la cabina se produce por los compartimentos superiores de almacenamiento, desde arriba o debajo de ellos, dependiendo del tipo de avión de Airbus, y se extrae a nivel del piso, lo que significa que se baja en lugar de subir. Por tanto, **en la cabina no hay flujo hacia adelante o hacia atrás** (Figura 2.1).

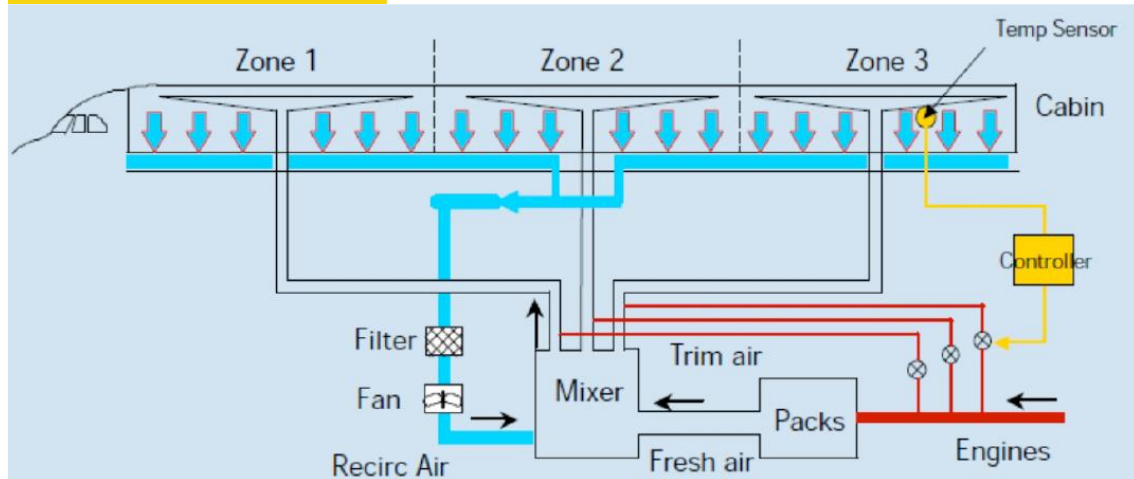


Figura 2.1. Sistema ventilación y recirculación AIRBUS.

http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/saglik_birimi/Airbus_Corona.pdf.

¿Qué filtros HEPA se utilizan en aeronaves?

Los filtros HEPA de AIRBUS para filtrar aire recirculado retienen los virus con un rendimiento superior a 99.97% a 300 nm como se puede ver en la Figura 2.2.

El estándar europeo HEPA EN1822-1 define HEPA como aquellos filtros con eficiencia de entre 85 a 99.995% para 300 nm. De acuerdo con la Figura 2.2, Airbus utiliza filtros HEPA con capacidad de filtración elevada (rango alto en la regulación europea).

Los fabricantes para AIRBUS son PALL y Donaldson-Le Bozec.

El estándar HEPA adoptado por los fabricantes de aviones comerciales y muchas otras industrias es el Método 102.9.1 MIL-STD-282, en base a ASTM D 2986-95, que requiere que el filtro capture el 99.97% de las partículas de 300 nm (<http://donaldsonaerospace-defense.com/library/files/documents/pdfs/042665.pdf>).

Pall fabrica los filtros con las siguientes especificaciones:

- Filter Media: Versapor® membrane (acrylic copolymer on a non-woven support)
- Housing: Polypropylene
- Filter Support: Polyester
- Adapters: Nylon
- Membrane Sealing Material: Polyurethane
- Housing Sealing Material: Polypropylene-encapsulated stainless Steel

El sistema APS Donaldson <https://pdf.directindustry.com/pdf/donaldson/avionics-bay-ventilation-filtering-system/6182-829891.html> integra filtración HEPA con germicida fotocatalítico ultravioleta y plasma frío.

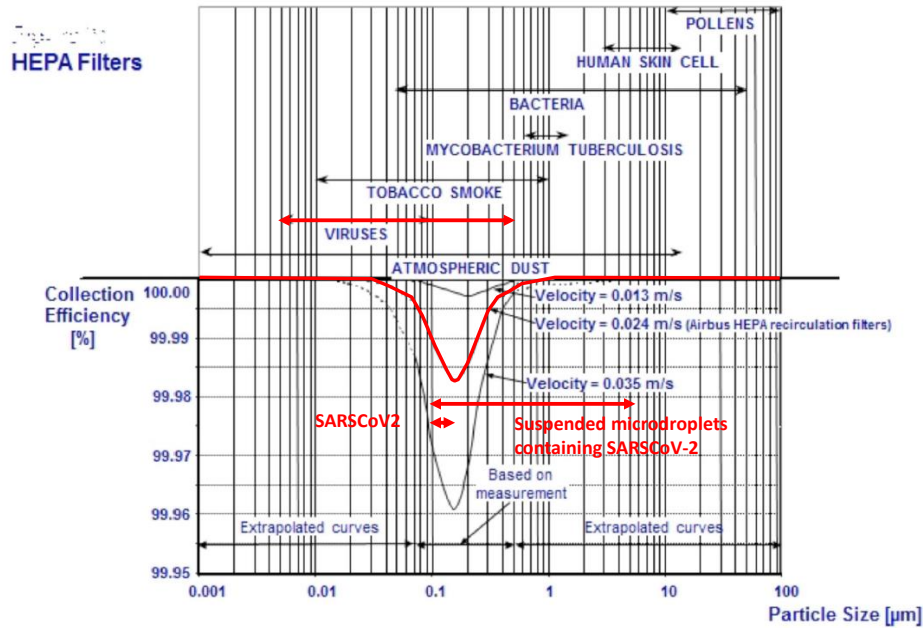


Figura 2.2. Rendimiento de filtración según tamaño para los filtros HEPA utilizados por AIRBUS.

Modificado de

http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/saglik_birimi/Airbus_Corona.pdf.

¿Cómo funcionan los filtros HEPA?

Los filtros HEPA atrapan los contaminantes del aire en una compleja red de fibras. Las fibras suelen ser generalmente de fibra de vidrio, y tienen un diámetro entre 500 y 2000 nm. El espacio entre las fibras del filtro HEPA es mayor que 300 nm.

Dependiendo de su tamaño, las partículas son atrapadas de diferentes formas:

- **Impacto directo:** Los grandes contaminantes, como ciertos tipos de polvo, moho y polen, viajan en una trayectoria recta, chocan con una fibra y se adhieren a ella.
- **Tamizado:** La corriente de aire transporta a una partícula entre dos fibras, pero la partícula es más grande que la brecha, por lo que queda atrapada.
- **Intercepción:** Gracias a la inercia, las partículas continúan en su trayectoria y se adhieren a los lados de las fibras.
- **Difusión:** Las partículas pequeñas y ultrafinas se mueven más erráticamente que las grandes, por lo que son más propensas a chocar y pegarse a las fibras.

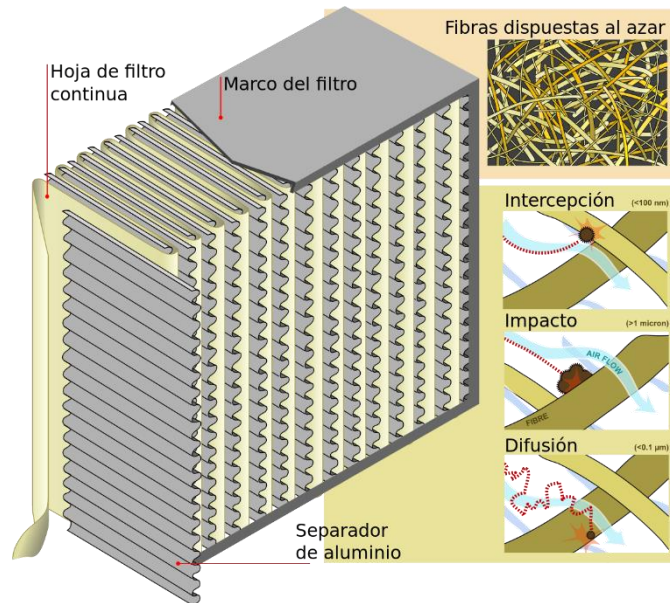


Figura 2.3.- Esquema de filtro HEPA

El único inconveniente de estos filtros, es que debe pasar el 100% del aire por el filtro para que funcione. Cualquier grieta o punto donde el aire se pueda filtrar, evitará el propósito del filtro, ya que permitirá que las partículas pasen más allá del filtro.

No hay un único tipo de filtro HEPA. La clase de filtración va de 10 a 14, siendo el 14 el que más partículas retiene, y el 10 el que menos.

También existen los filtros ULPA (Ultra Low Penetration Air) que tienen una clase de filtración de 15 a 17. Estos filtros eliminan el 99,999% de partículas de 120 nm de diámetro. Los filtros ULPA se parecen a los filtros HEPA en su construcción, pero difieren en que proporcionan un nivel más alto de limpieza. Con los filtros ULPA se pueden eliminar hasta las partículas más pequeñas, incluso los virus.

GROUP	FILTER CLASS		INTEGRAL VALUE		LOCAL VALUE	
	DIN EN 1822	ISO 29463	Filtration efficiency in the MPPS in %	Penetration in the MPPS in %	Filtration efficiency in the MPPS in %	Penetration in the MPPS in %
EPA	E 10	—	≥ 85	≤ 15	—	—
	E 11	ISO 15 E	≥ 95	≤ 5	—	—
	—	ISO 20 E	≥ 99	≤ 1	—	—
	E 12	ISO 25 E	≥ 95.5	≤ 0.5	—	—
HEPA	—	ISO 30 E	≥ 95.9	≤ 0.1	—	—
	H 13	ISO 35 H	≥ 99.95	≤ 0.05	≥ 99.75	≤ 0.25
	—	ISO 40 H	≥ 99.99	≤ 0.01	≥ 99.95	≤ 0.05
	H 14	ISO 45 H	≥ 99.995	≤ 0.005	≥ 99.975	≤ 0.025
ULPA	—	ISO 50 H	≥ 99.999	≤ 0.001	≥ 99.995	≤ 0.005
	U 15	ISO 55 U	≥ 99.9995	≤ 0.0005	≥ 99.9975	≤ 0.0025
	—	ISO 60 U	≥ 99.9999	≤ 0.0001	≥ 99.9995	≤ 0.0005
	U 16	ISO 65 U	≥ 99.99995	≤ 0.00005	≥ 99.99975	≤ 0.00025
	—	ISO 70 U	≥ 99.99999	≤ 0.00001	≥ 99.99999	≤ 0.0001
	U 17	ISO 75 U	≥ 99.999995	≤ 0.000005	≥ 99.99999	≤ 0.0001

Classification of EPA /HEPA /ULPA filters according to DIN EN 1822 and ISO 29463

¿Puede el aire recirculado propagar el virus SARS-CoV-2?

Es poco probable. El flujo de aire inducido por el sistema de recirculación se mezcla con aire fresco en una unidad mezcladora, y la mezcla accede a la cabina a través de las salidas de aire. Este flujo de aire pasa sobre los ocupantes a medida que pasa hacia el nivel del piso donde se extrae. Este aire irá por la borda a través de la(s) válvula(s) de salida de presurización, o pasará a través de un filtro HEPA para inyección nuevamente dentro del mezclador. Por lo tanto, debido a que los filtros HEPA tienen una eficiencia extremadamente alta en la captura del virus SARS-CoV-2, el flujo de aire de recirculación no propagaría el virus por toda la cabina.

Tomando como hipótesis que el foco de contaminación esté en una persona en el interior de cabina:

- Todo el aire extraído de cabina pasa por filtro HEPA. Suponiendo un HEPA 13 (ISO35H) por cada 100.000 bioaerosoles que entrasen al filtro en el rango más desfavorable del filtro (0,15 micras), saldrían unos 50 bioaerosoles aguas abajo del filtro.
- Esos 50 bioaerosoles volverían a entrar en cabina, una vez mezclado el aire de retorno con el aire exterior.

Por tanto, es poco probable, pero la probabilidad existe. La velocidad de paso por el filtro es también un parámetro a tener en cuenta para reducir esta probabilidad. Si se combina adicionalmente con algún equipo UVC, la probabilidad sería aún menor.

Procedimientos de operación especiales para la crisis SARS-CoV-2

No se recomiendan. En referencia a la información proporcionada anteriormente, no existen técnicas especiales de operación de aeronaves recomendadas por Airbus en relación con la transmisión del virus MERS o SARS-CoV-2 a bordo del avión. Airbus no recomienda apagar los ventiladores de recirculación de aire. Sin embargo, puede haber procedimientos relevantes para la tripulación recomendados por IATA, CDC, etc. relacionados con la higiene que deben respetarse.

En estos momentos, se debería extremar las precauciones cuando se cambien o manipulen los filtros HEPA porque probablemente tengan SARS-CoV-2 retenido.

2.2 Sector ferroviario

Típicamente, un tren cuenta con un HVAC (H, heating, calefacción), V (Ventilating, ventilación) AC (air conditioned, aire acondicionado) por coche que es responsable del tratamiento del aire interior, que consiste en una mezcla de un caudal recirculado y otro de aire exterior. De manera simplificada, el HVAC cuenta con los siguientes elementos:

- Unidad compacta de HVAC, instalada normalmente bajo bastidor o en techo. Es la responsable de suministrar el aire climatizado a las diferentes zonas del coche: zona de pasajeros, vestíbulo y WC. Esta incluye:
 - Sección de condensación
 - Sección de evaporación
 - Ventiladores responsables de forzar el caudal de aire
 - Compuertas automáticas para el control del caudal de aire exterior. Estas aseguran la protección frente a las ondas de presión producidas en túneles o en cruce de vehículos a alta velocidad.
 - Filtros de aire exterior, que impiden la entrada de partículas en el caudal de aire nuevo.
- Unidad de extracción, que impulsa el aire desde dentro del coche hacia el exterior de este.
- Unidad de control electrónico del HVAC.
- Panel eléctrico que contiene los contactores, así como las medidas de protección eléctrica de los equipos
- Conductos de distribución del caudal de aire: aire tratado, aire expulsado y aire recirculado. Dentro de estos, se incluyen habitualmente:
 - Compuertas operables de manera automática para el control del aire de retorno. Regulan la mezcla entre aire exterior y aire de retorno.
 - Filtros de aire interior, frecuentemente instalados en la propia rejilla de toma del aire del interior del coche.
- Sensores de control de temperatura. Son varios distribuidos a lo largo de las zonas del coche.
- Sensor de CO₂, situado normalmente en el retorno. Este sensor servirá para regular la mezcla entre caudales de aire exterior y de retorno, de modo que se garanticen siempre que no se supera cierto nivel de concentración de CO₂ en el interior del coche.

Este esquema de HVAC se puede considerar, a grandes rasgos, representativo de los equipos utilizados en los diferentes segmentos del transporte ferroviario, desde vehículos urbanos a transportes de media y larga distancia. Sin embargo, las condiciones de trabajo de estos sistemas se enfrentan a condiciones de trabajo muy heterogéneas dependiendo del segmento del que se trate. Esta variabilidad viene dada, fundamentalmente, por el modo de operación de estos transportes y la distancia entre estaciones.

De este modo, para los transportes urbanos (metro, tranvía o cercanías), las paradas, el cambio en la carga de pasajeros y la apertura de puertas (e incluso ventanas) se producen con una alta frecuencia, lo que da lugar a condiciones de trabajo mucho más inestables e

impredecibles para los equipos de climatización, con continuas entradas y salidas de aire incontroladas al sistema.

Para trenes de media y larga distancia, donde la separación entre estaciones es mucho mayor, las condiciones de trabajo tienden a ser más estables dado que se reducen notablemente el número de veces que se abren las puertas y que cambia la masa de pasajeros. Estos sistemas permiten un control más estable y eficiente del ambiente a climatizar.

En cualquier caso, en lo que se refiere a los filtros utilizados, las condiciones más exigentes que se pueden encontrar en el sector exigen a los fabricantes de material rodante garantizar que en sus equipos HVAC:

- Los caudales de impulsión, renovación y retorno del sistema de climatización de los coches se filtrarán de manera que la densidad de polvo en suspensión en el interior de los coches no sea mayor de 0.5 mg m³.
- La clase de los filtros de aire del sistema de climatización será los que indiquen la norma UNE-EN ISO 16890-1:2017, pero para ePM1 para virus, la máxima eficacia es >80%, muy inferior a los HEPA.

1 μ (micrón) = 0,001 mm (= PM1)

2,5 μ = 0,0025 mm (= PM2.5)

10 μ = 0,01 mm (= PM10)

ISO Grueso : ePM10 <50% (arena, pelo) ISO ePM10 : ePM10 >50% (polen, polvo del desierto)

ISO ePM2.5 : ePM2.5 >50% (bacterias, hongos, esporas de moho, polen)

ISO ePM1 : ePM1 >50% (virus, nanopartículas, partículas de gases de escape)

Clase según EN779

clase según en 779	clase según norma iso 16890			
	iso epm1	iso epm2.5	iso epm10	iso grueso
g3	–	–	–	> 80%
g4	–	–	–	> 90%
m5	–	–	> 50%	–
m6	–	> 50%	> 60%	–
f7	> 50%	> 65%	> 85%	–
f8	> 65%	> 80%	> 90%	–
f9	> 80%	> 90%	> 95%	–

Tabla 1: Clasificación de los filtros de aire según la norma UNE-EN ISO 16890-1:2017 bajo las condiciones de ensayo indicadas en dicha norma: caudal de aire 0.944 m³/s

Adicionalmente, y ya como parte de tareas de mantenimiento periódico que se realizan a la flota de trenes de Renfe, existe una especificación técnica relativa a la operación de limpieza y desinfección bacteriológica de los conductos de aire acondicionado de las unidades autopropulsadas eléctricas. Según este proceso de descontaminación, puntualmente se realizan limpiezas mecánicas de los conductos del HVAC de cada coche, utilizando medios como cepillos combinados con la “extracción y retención en continuo de la suciedad movilizada en el interior de los conductos de aspiración. Todos los equipos de aspiración estarán equipados con una etapa de filtración tipo H12 (filtros HEPA con eficiencia del 99.5% para partículas menores de 300 nm. Más allá del estado de la técnica, **se conocen un par de iniciativas** que han ido encaminadas a mejorar la calidad del aire dentro de los trenes, **pero que aún permanecen como casos muy puntuales que no han llegado a generalizarse:**



- Uso de lámparas UV-C dentro del circuito de HVAC para garantizar la eliminación de bacterias que puedan estar contenidas en el caudal de aire. Se sabe que esta tecnología ha sido solicitada por operadores en Rusia (<https://railway-news.com/coronavirus-ivolga-emus-feature-sanitising-hvac-systems/>).
- Uso de filtros activos en combinación con una celda eléctrica, en sustitución de los filtros pasivos convencionalmente utilizados en el sector. Este filtro, denominado BlueFilter, es un desarrollo del fabricante Faiveley que anuncia la capacidad de eliminar bacterias, virus y pequeñas partículas mayores de 10 nm con un “92% de efectividad sobre gérmenes”. Se desconoce si se está utilizando actualmente en algún tren comercial (<https://www.youtube.com/watch?v=Ql1wbYFuEOU>).



Figura 2.4: Características del filtro BlueFilter de Faiveley

Por tanto, en el sector ferroviario, los filtros generalmente utilizados hoy en día son orientados a la filtración de partículas de tamaños superior a los 400 nm y no son efectivos para la eliminación de SARS-CoV-2 teniendo en cuenta el tamaño de la partícula viral (60-140 nm). Sin embargo, se conoce un desarrollo del fabricante Faiveley que declara la capacidad de retener partículas superiores a los 10 nm, por lo que podría garantizar la eliminación de SARS-CoV-2.

Adicionalmente, se puede decir que no se tiene constancia del uso de filtros HEPA en el sector ferroviario. Del mismo modo que no se ha detectado la necesidad de su aplicación hasta el momento, no siendo una exigencia de los clientes y considerando que la calidad del aire en el interior de los vehículos ferroviarios nunca ha sido percibida como un problema.

La utilización de los filtros HEPA en sustitución de los utilizados actualmente en el sector puede ser viable técnicamente, aunque sin duda, exigiría de un análisis profundo sobre el modo de funcionamiento de los HVAC por el probable aumento en las pérdidas de carga, que demandarían equipos de ventilación de mayores potencias y consumos; además de operaciones de mantenimiento más frecuentes. Todo ello, previsiblemente, aumentará los costes de adquisición, operación y mantenimiento de los equipos de HVAC.

Recomendaciones en el sector Ferroviario. *Actualización de las Normas UNE relativas a los filtros.*

- *La norma UNE 779:2013 no está vigente y han sido sustituidas por las normas UNE-EN ISO 16890-1:2017 y UNE 1822:2020 que regula los filtros HEPA*

2.3 Sector del automóvil

El aire en el interior de un automóvil (coche, autobús, etc.,) debe ser lo más limpio posible. Sin embargo, humos, polvo, polen, cenizas y otras materias nocivas formarán parte del aire que respiramos si no disponemos de un aislamiento adecuado.

Para evitarlo, los automóviles incorporan los denominados filtros de habitáculo, también llamados de polen o de interior, y que en la actualidad lo incorporan de serie más del 95% de los vehículos.

Los filtros de aire de habitáculo están fabricados en papel plisado y/o fibra de vidrio y han sido diseñados para filtrar partículas pequeñas como el polen o el polvo y es por eso que se califican como filtros HEPA – High Efficiency Particulate Air- o filtros de alta eficiencia (al igual que en el sector aeronáutico).

La eficacia que tienen los filtros HEPA es de un 99,97 %, y está compuesta de fibras de vidrio (con diámetros de entre 200 y 500 nm) que forman una malla. Las partículas que intentan pasar por el filtro acaban atrapadas entre las fibras, que están dispuestas al azar. Esto es posible gracias a tres mecanismos: **intercepción**, la adhesión de una partícula a la fibra; **impacto**, cuando las partículas grandes impactan contra las fibras (normalmente por una corriente de aire más potente o la separación de fibras) y la **difusión**. El material con el que se fabrican los filtros de interior retienen partículas del orden de los 300 nm.

El sistema HEPA, de acuerdo a los datos que tenemos sobre las dimensiones del SARS-CoV-2 (entre 60-140 nm de diámetro), **no podría retener a priori el microorganismo en la mayoría de vehículos modernos**. Esto se debe a que su tamaño es menor de lo mínimo que se suele filtrar, que es 300 nm. Ahora bien, un aspecto importante a recordar es que el virus no viaja solo, es decir, no permanece en el aire tal cual, por lo que ha de ir en **gotas o partículas en suspensión cuyo diámetro (desde 100 nm hasta 10000 nm) sí es suficiente para ser retenidas por los filtros ya que**, al ser un entramado de fibras, es posible que, por los mecanismos descritos anteriormente, pudiera quedar inmovilizado entre ellas. De todas formas, cabe recordar que el coronavirus se transmite principalmente con el contacto entre humanos.

Por supuesto, esto dependerá de la eficiencia de los HEPA usados, es decir, es importante ver la eficiencia en todo el rango de tamaños. En cualquier caso, es una información generalmente proporcionada por los fabricantes.

Este último método, difusión es el que, en teoría, defendería el coche de la entrada del SARS-CoV-2. Sirve como apoyo a los otros dos mecanismos y específicamente para partículas de menos de 100 nm. Se basa en el movimiento browniano, el comportamiento aleatorio de una partícula cuando choca contra otras en un medio líquido o gaseoso. En este caso, ciertas partículas gaseosas dificultarían la entrada de las partículas invasoras, siempre que el flujo de aire fuera lento.

Los fabricantes de HEPA aseguran que puede filtrar hasta partículas de 5 nm mediante el mecanismo de difusión.

En definitiva, si la probabilidad de aspirar SARS-CoV-2 por las entradas de aire ya es muy escasa, que entre al habitáculo es residual.

Parece ser que únicamente los automóviles de alta gama incorporan filtros de alta calidad con un gran poder de retención de partículas de pequeño tamaño.

2.4 Sector del transporte de pasajeros por carretera (autocares)

El control de la climatización en un vehículo de transporte de viajeros permite ajustar la temperatura de la zona de los pasajeros y del puesto del conductor; el sistema de climatización intentará obtener dicha temperatura regulando automáticamente los distintos subsistemas, es decir, calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Además, el sistema de control selecciona automáticamente el reparto entre el aire del exterior y el aire recirculado.

En general, en los autocares (vehículos destinados y diseñados para el transporte de media y larga distancia) se suele estar más tiempo sin que se abran las puertas frente a los autobuses (vehículos destinados y diseñados para el transporte urbano), por este motivo en los primeros, los sistemas de climatización siempre maximizan el uso del aire del exterior. Para garantizar un suministro suficiente de aire del exterior, incluso en modo de recirculación, normalmente el aire del exterior se toma durante 1 minuto de cada 5 en condiciones climáticas suaves y 25 segundos de cada 5 minutos en condiciones climáticas más extremas.

En los autobuses la renovación del aire de cabina es prácticamente constante por la alta frecuencia en la apertura de puertas de subida y bajada de viajeros.

Para ambas tipologías de vehículo, tanto para el modo de recirculación de aire como para la toma de aire desde el exterior, la admisión se concentra en un mismo punto, lo que permite siempre y en todos los casos el filtrado del aire que circula en cabina.

Los filtros de aire estándar que se montan actualmente tienen una eficacia de filtración que va desde el 54% al 68% (300 m³/h) en función del área de filtrado.

Desde el sector del transporte de pasajeros por carretera se han puesto en marcha las siguientes iniciativas para garantizar en lo posible ambientes seguros, libres de virus y bacterias:

- **Uso de filtros de carbono de alta capacidad:** En sustitución directa de los filtros estándar, sin afectación en el rendimiento de los sistemas de climatización. La eficacia de filtrado obtenida para materia particulada (PM2.5) va de un 91% al 99% (300 m³/h) sin verse alteradas las condiciones de trabajo normales. Además, cuentan con una capa biofuncional antimicrobiana adicional, así como un recubrimiento de polifenoles que asegura que el aire que circula a través de estas capas queda libre de bacterias y mohos, también actuando como jaula para los alérgenos y eliminación de olores.
- **Nebulización de desinfectante de amplio espectro germicida y uso universal** (superficies y desinfección aérea) para la limpieza y desinfección del interior del vehículo y del circuito de climatización.
- **Protocolos específicos de mantenimiento** de refuerzo en los sistemas de climatización de los vehículos.
- **Protocolos de actuación del conductor** en relación al uso de ventanillas, claraboyas o maineles para agilizar los procesos de renovación del aire de cabina cuando sea necesario o recomendable.

Otro de los sistemas que se encuentra en estudio es la idoneidad de la **limpieza y desinfección del circuito de climatización mediante equipos de Ozono**, con los cuales durante el proceso de desinfección se pone en marcha el sistema de climatización en modo de recirculación, lo que garantizaría que se desinfectan todos los conductos y filtros de ventilación.

Este proceso de limpieza requiere que el vehículo esté libre de viajeros, siendo los tiempos de ejecución amplios (10 ó 15 minutos de aplicación más al menos 30 minutos posteriores de seguridad para poder acceder al interior del vehículo), complicándose con ello la logística diaria de actuación en flotas medianas, grandes o deslocalizadas.

A modo de resumen, y tras constatar con los fabricantes de vehículos la dificultad de introducir filtros HEPA debido a la pérdida de rendimiento de los equipos de climatización, **se plantea desde el sector, la actualización y paso directo a usar filtros de más alta eficiencia de carbono** activo en autobuses y autocares. Estos filtros de muy alta eficiencia, aunque no lleguen a los niveles de filtrado de los filtros HEPA, si son capaces de llegar a capturar y retener las microgotas presentes en los aerosoles y que podrían tener capacidad infecciosa.

Sumado a la introducción de este tipo de filtros, con una clasificación superior a MERV-13, la incorporación de sistemas de ultrafiltración con lámparas UVGI (UV-C) como complemento, **permitiría afirmar que en este medio de transporte colectivo**, no sólo se está trabajando en la filtración de partículas de mayor tamaño (polen, polvo, etc.), sino que **existe una tendencia clara** hacia el control de partículas pequeñas (PM2.5) que puedan ser portadoras de carga vírica y que además, se están haciendo esfuerzos para complementar estos sistemas mediante ultrafiltrado activo con el uso y adaptación de lámparas UVGI.

Por último, **reseñar que tanto los protocolos** de actuación del conductor como los procedimientos de mantenimiento, **se han adaptado hacia la mejora de las condiciones** de ventilación, filtración y climatización de los vehículos para reducir los riesgos en la transmisión aérea del SARS-CoV-2.

2.5 Sector comercial (bares, restaurantes, grandes superficies, etc.)

Los filtros son los responsables de purificar el aire que emite el aparato de aire acondicionado.

Muchas compañías a nivel mundial, especializadas en la climatización de lugares, se han dedicado a trabajar para evitar que partículas, bacterias y microorganismos dañinos penetren en interiores, para lo que han diseñado filtros que van desde los más rudimentarios, hasta los más especializados, con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de elementos perjudiciales que pueda contener el contaminado aire proveniente del exterior.

La efectividad del proceso de filtración de aire dependerá sin duda del filtro utilizado, ya que debe emplearse uno cuyo material de fabricación, resistencia y funcionalidad, vaya en perfecta consonancia con las características generales del aire que regularmente entra a un lugar cerrado, a los fines de garantizar la máxima utilidad del filtro del aire

Un filtro de aire puede definirse fácilmente como un dispositivo que se usa para eliminar y retener las partículas que contiene el aire cuando éste pasa a través de este elemento. Por tanto, los filtros son los que van a eliminar todas estas partículas para que respiremos un aire lo más limpio y puro posible además de fresco.

TIPOS DE FILTROS

Aunque hay muchos tipos de filtros y en los últimos años ha habido mucha innovación al respecto, se pueden destacar los siguientes:

Filtros de Nylon: Se trata de uno de los filtros más comunes, y lo incluyen todo tipo de instalaciones de aire acondicionado. No ofrece una capacidad extra de limpieza en el aire, pero realiza su función de manera eficaz.

Filtros de carbón activo: Este tipo es más sofisticado que los anteriores y puede absorber olores. Los productos a retener aquí no son partículas sino moléculas.

Filtro HEPA: Es uno de los tipos de filtros de mayor eficacia. Son altamente recomendables en aquellos casos donde hay alérgicos o personas con enfermedades respiratorias que necesitan un aire muy limpio. Los filtros absolutos HEPA son filtros de eficiencia mínima del 99,97% para partículas de 300 nm. El filtro está construido con fibra de vidrio ultra fina, plegada

FILTROS ESPECIALES

Algunos filtros de los más novedosos aportan nuevas características. La mayoría de ellas van dirigidas a la eliminación de olores y a la purificación del aire. No se va a entrar en describir los existentes. Únicamente se van a mencionar aquellos que se pueden considerar efectivos en la eliminación del SARS-CoV-2.

Entre ellos, podemos encontrar:

-Filtros Electrostáticos: La carga de electricidad electrostática que contiene el filtro descompone el polvo y los microorganismos que están suspendidos en el aire. Además, se suele colocar una película de un producto altamente antioxidante que evita la reaparición de gérmenes. Es uno de los sistemas más eficaces empleados hoy en día en los filtros de aire acondicionado. Este principio es efectivo en una gama de tamaño de partículas muy amplia, desde tamaños inferiores a 100 nm hasta tamaños superiores a 25000 nm.

Filtro fotocatalítico desodorizante de larga duración. Utiliza la energía fotocatalítica de los rayos ultravioleta absorbiendo y descomponiendo las partículas que lo atraviesan. Especialmente indicado para los equipos de aire acondicionado que funcionan en grandes volúmenes de aire.

Filtros antialérgenos. Funcionan mediante un generador de ultrasonidos que crea zonas de aire más densas y de ese modo atrae a las partículas del polvo y las aglutina. Estos filtros inactivan las bacterias, los virus y mohos, por lo que combinan tres funciones: protección antialérgica, antivirus y antibacterias.

Filtros Panasonic Etherea: Utiliza nanotecnología. El sistema libera partículas capaces de captar y desactivar el 99% de las bacterias y los virus del aire en el filtro de la unidad interior, asegurando una rápida limpieza del ambiente. No indican que tipo de nanopartículas utilizan.

Filtros Purificadores Daikin: Daikin ha desarrollado filtros que no sólo purifican el ambiente si no que eliminan virus, bacterias y agentes alérgenos. Su tecnología, denominada "Flash Streamer" descompone casi el 100% de los virus, bacterias y agentes alérgenos del aire ambiente en estancias de hasta 46m².

Los filtros más avanzados, como son estos dos últimos, se suelen encontrar en los equipos de gama alta o media-alta. Los equipos más económicos suelen incluir filtros más básicos que sirven sobre todo para atrapar el polvo.

2.6 Conclusiones

- El sistema de ventilación/filtrado de aire en el **sector aeronáutico** parece estar bien regulado. Los aviones más modernos (Airbus) utilizan filtros de alta calidad HEPA con lo que se puede suponer que la eliminación del virus SARS-CoV-2 es efectiva. No se ha encontrado información sobre si otros tipos de fabricantes de aviones utilicen este tipo de filtros.
- En el caso del **sector ferroviario**, los filtros utilizados son de calidad intermedia.
- En el **sector del automóvil** parece que sigue la misma tendencia que en el sector ferroviario. Está más enfocado a la retención de partículas de alto tamaño como polen, polvo, etc. Se sugiere incrementar en lo posible la ventilación (flujo aire nuevo/aire recirculado), investigar sobre filtros más efectivos y sistemas germicidas.
- **Las iniciativas propuestas por el sector del transporte de pasajeros por carretera**, como son la incorporación de filtros de carbón activo en autobuses y autocares con una clasificación superior a MERV-13, junto con la incorporación de sistemas de ultrafiltración con lámparas UVGI (UV-C) como complemento, permitiría afirmar que en este medio de transporte colectivo existe una tendencia clara hacia el control de partículas pequeñas (PM2.5) que puedan ser portadoras de carga vírica.
- En el sector del **aire acondicionado para grandes superficies, restaurantes, etc.**, los filtros están más enfocados a la eliminación de olores utilizando filtros de carbón activo. También tienen filtros antipartículas, pero parece que no del tipo HEPA. Ahora bien, han desarrollado otro tipo de tecnologías que pueden destruir a virus y bacterias mediante la utilización de nanotecnología y, probablemente luz UV.
- **En estos 3 sectores**, el sistema de filtración debería mejorarse debido a los requerimientos existentes en la actual situación. Por este motivo, es conveniente plantear nuevas soluciones de:
 - Filtrado
 - Desactivación
 - Estrategias combinadas.
- **Además, deberían establecerse** Protocolos de Ensayos Experimentales en todos los sectores para comprobar
 - Capacidad de retención de bioaerosoles de distintos diámetros aerodinámicos.
 - Capacidad para desactivar patógenos, entre ellos el virus actual.
 - Medidas de seguimiento de la calidad del aire en el interior de los autobuses trenes, etc., colocando dispositivos que permitieran recoger todo tipo de partículas, bacterias y virus presentes mediante la utilización de filtros adecuados y posterior análisis.

- **Recomendación y precaución:** En estos momentos estamos asistiendo a una masiva implantación de soluciones para higienizar el aire que no siempre cuentan con la garantía adecuada desde el punto de vista de la salud de las personas.
- **Obligatoriedad del uso de mascarilla en cualquier medio de transporte y en cualquier lugar público.**

3 CAPACIDADES de los INSTITUTOS DEL CSIC

3.1 IDAEA-CSIC

Muestreo de aerosoles para determinación de virus

IDAEA-CSIC dispone de instrumentación de **toma de muestras de aerosoles atmosféricos**. La instrumentación permite la toma de muestras segregada **en diferentes rangos de tamaños** (desde 0.25 μm hasta más de 2.5 μm). Dichas muestras se pueden utilizar con los procedimientos adecuados para **determinar concentración de virus en aire** ambiente en los diferentes rangos de tamaños. Se podría determinar entonces las concentraciones de **virus en partículas más gruesas**, llamadas **gotas** en el ámbito médico, y **en partículas más finas**, llamadas **aerosoles** en el ámbito médico. Se podrían tomar muestras en diferentes ambientes y diferentes situaciones para **evaluar la situación actual** y para **determinar la eficacia de medidas de prevención**. La parte de análisis de virus la han de hacer laboratorios de virología.

Determinación de capacidad filtrante de materiales

En IDAEA-CSIC se ha diseñado un **sistema para determinar la capacidad de filtración de materiales que puede servir en la actual situación de emergencia**. **No pretende ser una alternativa a los protocolos de certificación ni una réplica de los sistemas normalizados**, sino que se ha diseñado con base en los conocimientos científicos y técnicos sobre filtración de partículas y el SARS-CoV-2 y considerando la viabilidad con los medios de que se dispone. **El sistema se basa en la generación de aerosoles, selección de las partículas de 300 nm, y determinación de la concentración de partículas generada antes y después de pasar por el material a testar**. La elección del tamaño de 300 nm se basa en criterios de NIOSH, que determina el mínimo de filtración a este tamaño para muchos materiales. Dado que el SARS-CoV-2 está presente en el rango de tamaños desde cientos de nanómetros hasta cientos de micrómetros, es sumamente importante que se determine la capacidad de filtración en el rango completo de tamaños, o en su defecto, en el tamaño más desfavorable. El sistema permite también hacer ensayos a otros tamaños de partícula como 100 nm o 500 nm.

Limitaciones:

- La eficiencia de filtración puede variar con la velocidad de paso del aire a través del material (conocida como "*face velocity*"). En el presente diseño experimental la velocidad de paso es de 3.4 m/s. No obstante, un estudio determinó poca o nula diferencia en la capacidad de filtración a velocidades de 5.5 cm/s y 16.5 cm/s (Rengasamy et al., 2010).
- La eficiencia de filtración corresponde al material en sí. La eficiencia de los sistemas en los que se incluyan los materiales dependerá del diseño completo.

3.2 ICTP-CSIC

MEMBRANAS ACTIVAS PARA PURIFICACIÓN DE AIRE

En el ICTP existen grupos de investigación con experiencia en la obtención de **membranas porosas jerarquizadas activas** que pudieran ser capaces de inmovilizar y eliminar el coronavirus, y que no permitan su recirculación en circuitos o espacios cerrados. Es decir, tengan tamaños de poro variables cuyo valor inferior sea 300 nm y sean además antimicrobianas. Adicionalmente, las membranas podrían ser capaces de inhibir la formación de biofilmes bacterianos o virales. Las bacterias se protegen del sistema inmunológico a través de la excreción de una envoltura de exopolisacáridos que se adhieren a las superficies. En el caso de los virus, aunque este sistema es mucho más complejo, se conoce que se encierran en una cápsula adhesiva extracelular rica en carbohidratos, que permite su transferencia eficiente y su transmisión viral (Thoulouze et al., 2011).

Para lograr este objetivo, se pueden emplear técnicas combinadas de procesado y síntesis, en las que el ICTP tiene amplia experiencia, como son el electrohilado (normal, coloidal...), segregación superficial, metodología *Breath Figures*, mezclas de polímeros, así como la síntesis de polímeros con actividad antimicrobiana. Como es conocido, el electrohilado es la mejor tecnología para la fabricación de fibras no tejidas, con diámetros en el rango de micrómetros hasta nanómetros. Estas fibras tienen un gran potencial en la fabricación de textiles, medicina, medio ambiente, etc., debido a su elevada relación superficie/volumen, alta porosidad controlable, plasticidad para adaptarse a todo tipo de formas y tamaños, así como una gran capacidad de funcionalización.

Por otra parte, también es conocido que la naturaleza posee distintas estructuras jerárquicas porosas en diferentes escalas de longitud, desde nano a macro, que confieren propiedades especiales como son la flor de loto o las patas del gecko. La metodología de *Breath Figures* permite la formación de estructuras porosas en el orden de micro/nanoescala resultante del proceso de condensación de agua y por otro lado permite la funcionalización específica mediante procesos de auto-segregación a escala nanométrica cuando se emplean determinados polímeros o disolventes (Muñoz-Bonilla et al., 2014) (Zhang et al., 2018) (Zheng et al., 2012). Estos polímeros tendrán las características necesarias para la eliminación del virus.

Atendiendo a todos estos conceptos, en el ICTP hay grupos que podrían desarrollar materiales porosos jerárquicos, con una porosidad intrínseca por tortuosidad (tejido no tejido) que permita el flujo de aire y una porosidad inducida (por tratamiento durante el proceso de formación), capaz de atrapar en su superficie el virus y eliminarlo.

De esta manera podríamos conseguir un filtro activo capaz de mantener el flujo de aire y limpiarlo de los contaminantes.

Algunos objetivos parciales que se podrían conseguir (varios grupos del ICTP están preparando proyectos con, en parte, estos objetivos para presentar próximamente en la convocatoria CRUE-Santander e ISCIII):



- *Conseguir un espesor de malla de 2.5 mm con una tortuosidad adecuada.*

Para este objetivo se emplearía como matriz base, el poli(ácido láctico) (PLA), un polímero biobasado y biodegradable. Se emplearían oligómeros plastificantes no volátiles para favorecer su procesado mecánico, o lo que es lo mismo, su adaptabilidad a distintas superficies/diseños.

Como uso alternativo a esta matriz o como parte de la mezcla base se emplearían el acetato de celulosa (Goetz et al., 2016) (Zhou et al., 2016) también procedente de recursos naturales, reforzado o no con nanocristales de celulosa o de almidón (Sonseca et al., 2014).
- *Incorporación de polímeros activos*

Se introducirán en la disolución polimérica polímeros con actividad antimicrobiana, ya sean polímeros con actividad intrínseca o combinada con los sistemas metálicos o inorgánicos.

 - Como polímeros activos se incorporarían polímeros metacrílicos catiónicos con grupo tiazol cuaternizable con ioduros de alquilo (Echeverría et al., 2019) (Tejero et al., 2015) (Tejero et al., 2018), ya que tienen probada actividad frente a distintos microorganismos, y el yodo contraíón puede actuar de desinfectante.
 - También se emplearían polisacáridos y glicopolímeros, cargados negativamente con conocida capacidad de interactuar con proteínas específicas de los microorganismos (Álvarez-Paino et al., 2015) (Kottari et al., 2013) (O'Donnell et al., 2008) (Antoine et al., 2012).
 - También se probarían como sistemas activos polímeros cargados negativamente que sean capaces de interactuar con la membrana de carga positiva de los virus, como es el caso de polímeros de origen natural procedentes de la fermentación de las algas. Se puede además modificar estos polímeros introduciendo grupos catiónicos, dando lugar a polímeros zwitteriónicos, ampliando el rango de posibilidades.
 - Como sistemas metálicos e inorgánicos se propone en primer lugar el empleo de plata sintetizada mediante técnicas verdes empleando la oxidación de polisacáridos para su anclaje (Sonseca et al., 2019). Se ha observado que la presencia de grupos carbonato mejora el efecto antimicrobiano de la plata (Sonseca et al., 2019) (Swarty et al., 2014), por lo que se valorará también su incorporación.
 - Otro de los materiales a incorporar será el óxido de titanio dopado con óxido de wolframio ($\text{TiO}_2\text{-WO}_3$) para actuar en el espectro del visible e incluso en condiciones de oscuridad (Cai et al., 2019). Para hacer menos densas estas partículas se empleará óxido de silicio coloidal como soporte.
- *Modificación de la atmósfera durante el procesado de las fibras*

El método de *Breath Figures*, como se ha comentado, permite obtener superficies micro-y nanoestructuradas porosas y con una funcionalidad superficial determinada dependiendo de los polímeros empleados (Muñoz-Bonilla et al., 2014) (Muñoz-Bonilla et al., 2010) (de León et al., 2013) (del Campo et al., 2019). Este método se basa en la



condensación de gotas de agua en la superficie de una disolución polimérica durante su evaporación en una atmósfera húmeda. Una vez evaporado el disolvente y las gotas de agua, se obtienen superficies porosas generalmente ordenadas en estructura de panal de abeja. El tamaño y la densidad de poro se puede controlar mediante diferentes parámetros como la humedad relativa o concentración de la disolución.

- *Funcionalización de poliamidas y PP con derivados amina como agente con previsible propiedades antivirales.*

Estos polímeros serán no tóxicos y con actividad recargable mediante procedimientos sencillos. Además, los filtros estarán formulados como superficies trampa: incluirán carbohidratos identificados en la glicoproteína que reconoce el virus en la célula humana, además de las aminas viricidas. El virus interactuará por reconocimiento molecular con estos carbohidratos y quedará atrapado en la superficie.

3.3 ICV-CSIC

MEMBRANAS CERÁMICAS PARA ULTRAFILTRACIÓN

En el ICV hay un grupo de investigación que lleva trabajando durante bastantes años en membranas cerámicas de tamaño de poro controlado que pudieran ser válidas para la eliminación del coronavirus. Los poros pueden llegar a ser de hasta 5 nm. Teniendo en cuenta que el tamaño mínimo del virus (50 nm), no atravesaría la membrana cerámica. Además, es posible controlar su tamaño, la distribución y su tortuosidad.

Para obtener una membrana cerámica efectiva son necesarias algunas características, tales como alta porosidad, alta permeabilidad y buena resistencia mecánica. Las membranas cerámicas con alta permeabilidad pueden ser obtenidas en una configuración asimétrica que consiste en un soporte macroporoso con una lámina superior. Tanto la porosidad como la permeabilidad del soporte puede controlarse mediante el uso de un agente formador de poros. Varios tipos de aditivos como almidón, carbonato de calcio y grafito se han utilizado para generar porosidad en el matriz cerámica.

Las membranas cerámicas que se elaboran en el ICV se preparan a partir de diferentes tipos de arcillas (caolínicas, caolínicas-ílticas, etc.) de origen natural y utilizando además un agente formador de poros. Para poder controlar el tamaño de poro, distribución, etc., se estudia tanto la temperatura de sinterización como la concentración de agente formador de poros. Además, esta proporción tiene influencia en su resistencia mecánica. Cuando se aumenta la temperatura de sinterización, la resistencia mecánica y el diámetro medio de poro aumenta mientras que la porosidad disminuye.

Hacer membranas cerámicas por debajo de ese tamaño, no tiene ningún problema (En el grupo hemos hecho y publicado por debajo de 5 nm.), lo que pasa es que la pérdida de carga (Presión necesaria para atravesarla) es relativamente alta.

¿Cómo funcionan estos filtros-membrana? Gracias a la tortuosidad, con tamaños de poros superiores, la sección eficaz es inferior debido a la tortuosidad. Los filtros de muchas de las mascarillas son empaquetamientos de fibras (Celulosa o similares), con tamaño de poro mucho mayor pero muy tortuosas.

En mascarillas con un filtro intercambiable, el filtro cerámico sería reutilizable tras someterlo a un breve tratamiento térmico a temperaturas de 400-800°C, por ejemplo.

Se necesitaría conocer el tipo de ensayos que se hacen para conseguir pasar las certificaciones. Por supuesto, luego deberían realizarse los ensayos oportunos para ver la eficacia de dichas membranas.

VENTAJAS. Reciclabilidad. Mediante un tratamiento térmico suave (400-500°C) es posible la reutilización de la membrana.

Residuos. Básicamente, los agentes formadores de poros provienen de residuos vegetales, orgánicos, inorgánicos, etc.

INCONVENIENTES: Peso. La densidad de las membranas es del orden de 2.6 g cm⁻³.

3.4 ICP - CSIC

INACTIVACIÓN DE SAR-CoV-2 EN EL AIRE EN RECINTOS CERRADOS

En el contexto actual, la presencia de coronavirus en el aire es un hecho comprobado; esto es particularmente grave en recintos cerrados como hospitales, oficinas, aulas, edificios con climatización centralizada, vehículos -tren, avión, autobús, barco-, etc.

Los filtros de adsorción y de eliminación catalítica suelen ser la solución a esta problemática, pero hay limitaciones ya que la adsorción puede ser lenta y la actividad catalítica a baja temperatura es lenta. Este proyecto quiere desarrollar catalizadores económicos eficaces en la desactivación de SARS-CoV-2 a temperaturas moderadas, sin que la presencia de humedad ambiental limite su eficacia.

La oxidación de compuestos volátiles orgánicos por metales nobles proporciona unos resultados excelentes, pero últimamente, la utilización de óxidos mixtos de baja dimensionalidad permite obtener capacidades de oxidación muy superiores a los metales nobles, mejorando su economía y viabilidad. Esta capacidad de oxidar en condiciones moderadas se trasladará la inactivación de SAR-CoV-2 en aire. El trabajo a realizar consta **de dos objetivos**.

El primero objetivo está enfocado a la inactivación del coronavirus por daño de su superficie vía estrés oxidativo inducido por los centros activos del filtro catalítico, esperando alcanzar eficacias superiores al 99%. Se realizará utilizando filtros cerámicos activados con nanopartículas.

El segundo objetivo está enfocado al ensamblaje de estos catalizadores en sistemas conformados tipo monolito Wall-flow o filtro (cartuchos catalíticos) e integrarlo en sistemas de circulación de aire interior.

3.5 IATA-CSIC

Filtros viricida

Grupo de Nuevos Materiales y Nanotecnología. Este grupo del IATA-CSIC ha desarrollado una serie de filtros viricidas basados en nanofibras que contienen como agente viricida, óxido de zinc, junto con la spin-off del grupo, Bioinicia S.L., y que han patentado recientemente. Los filtros multicapa desarrollados por el grupo, tienen capacidades de filtración medidas por organismos certificados superiores al 99% frente a la penetración de aerosoles de parafina de 300 nm, y presentan eficacias antimicrobianas con valores de R superiores 3 frente a patógenos.

La oferta del grupo en filtrado de aire, es la aplicación del mismo principio de filtración basado en nanofibras y la capacidad de escalado y fabricación hasta un volumen anual que se estima en 10 toneladas año de nanofibras.

El grupo también oferta la medida de la capacidad de penetración de aerosoles y de respirabilidad (caída de presión) con equipamiento adquirido recientemente, PMFT1000 de PALAS, Alemania, según normas tales como, entre otras, GB2626, EN143, EN149 y EN13274-7.

4 REFERENCIAS

- Álvarez-Paino, M., Muñoz-Bonilla, A., López-Fabal, F., Gómez-Garcés, J.L., Heuts, J.P.A., Fernández-García, M. 2015. Effect of glycountits on the antimicrobial properties and toxicity behavior of polymers based on quaternized DMAEMA, *Biomacromolecules* 16(1)295-303
- Antoine, T.E., Mishra, Y.K., Trigilio, J., Tiwari, V., Adelung, R., Shukla, D. 2012. Prophylactic, therapeutic and neutralizing effects of zinc oxide tetrapod structures against herpes simplex virus type-2 infection, *Antiviral Res.* 96(3):363-75.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, USA: ASHRAE Standard 62.1, 2004.
- ASHRAE. COVID-19 (CORONAVIRUS) PREPAREDNESS RESOURCES. American Society of Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Engineers; 2020a
- ASHRAE. Position Document on Airborne Infectious Diseases, Approved by the Board of Directors, January 19, 2014. Reaffirmed y the Technology Council, February 5, 2020. Atlanta, Georgia; 2020b
- ASHRAE. ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols. Approved by ASHRAE Board of Directors April 14, 2020. <https://www.ashrae.org/technical-resources/resources>
https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_infectiousaerosols_2020.pdf
- Azimi, P., and B. Stephens. 2013. HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs. *Building and Environment* 70:150–60.
- Castro-Mayorga J.L., Randazzo W., Fabra M., Lagaron J.M., Aznar R., Sanchez G. *LWT*, 79, 503-510 (2017) “Antiviral properties of silver nanoparticles against norovirus surrogates and their efficacy in coated polyhydroxyalkanoates systems”.
- CDC. 2005. Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Settings. *Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR)* 54(RR17):1–140. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention. www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/rr5417a1.htm.
- CDC. HIERARCHY OF CONTROLS. Centers for Disease Control and Prevention; 2015
- CDC/NIOSH. Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings. Publication No. 2009–105. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention & National Institute for Occupational Safety and Health; 2009.
- de Leon, A. S, Del Campo, A., Fernandez-Garcia, M., Rodriguez-Hernandez, J., Munoz-Bonilla, A. 2013. Fabrication of structured porous films by breath figures and phase separation processes: tuning the chemistry and morphology inside the pores using click chemistry, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 5(9):3943-51.
- del Campo, A., Echeverria, C., San Martin, M., Cuervo-Rodriguez, R., Fernandez-Garcia, M., Munoz-Bonilla, A. 2019. Porous Microstructured Surfaces with pH-Triggered Antibacterial Properties, *Macromol Biosci* 19(8):e1900127.

- Echeverría, C., Muñoz-Bonilla, A., Cuervo-Rodríguez, R., López, D., Fernández-García, M. 2019. Antibacterial PLA Fibers Containing Thiazolium Groups as Wound Dressing Materials, *ACS Applied Bio Materials* 2(11):4714-4719.
- Fears, A.C., et al., 2020, preprint. Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions. <https://doi.org/10.1101/2020.04.13.20063784>.
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.13.20063784v1.full.pdf>
- Figueroa-Lopez K.J., Torres-Giner S., Enescu D., Cabedo L., Cerqueira M.A., Pastrana L., J.M. Lagaron J.M., *Nanomaterials*, 10(3), 506 (2020). "Electrospun Active Biopapers of Food Waste Derived Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) with Short-Term and Long-Term Antimicrobial Performance"
- Fusco, F.M., S. Schilling, G. De Iaco, H.R. Brodt, P. Brouqui, H.C. Maltezou, B. Bannister, R. Gottschalk, G. Thomson, V. Puro, and G. Ippolito. 2012. Infection control management of patients with suspected highly infectious diseases in emergency departments: Data from a survey in 41 facilities in 14 European countries. *BMC Infectious Diseases* January 28:12–27.
- Gilkeson, C.; Camargo-Valero, M.; Pickin, L.; Noakes, C. 2013. Measurement of ventilation and airborne infection risk in large naturally ventilated hospital wards. *Building and environment*. 65:35-48.
- Goetz, L.A., Jalvo, B., Rosal, R., Mathew, A.P. 2016. Superhydrophilic anti-fouling electrospun cellulose acetate membranes coated with chitin nanocrystals for water filtration, *J. Membr. Sci.* 510:238-248.
- Jang S, Han SH, Rhee J-Y., 2020. Coronavirus disease cluster associated with fitness dance classes, South Korea. *Emerg Infect Dis.* 2020 Aug. <https://doi.org/10.3201/eid2608.200633>. https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-0633_article
- Khankari, K. 2016. Airflow path matters: Patient room HVAC. *ASHRAE Journal* 58(6).
- Khankari, K. 2018a. Analysis of spread index: A measure of laboratory ventilation effectiveness. Paper no. HO-18-C043. 2018 ASHRAE Annual Conference—Papers [download].
- Khankari, K. 2018b. CFD analysis of hospital operating room ventilation system part I: Analysis of air change rates. *ASHRAE Journal* 60(5).
- Khankari, K. 2018c. CFD analysis of hospital operating room ventilation system part II: Analyses of HVAC configurations. *ASHRAE Journal* 60(6).
- Kottari, N., Chabre, Y., Sharma, R., Roy, R. 2013. Applications of Glyconanoparticles as "Sweet" Glycobiological Therapeutics and Diagnostics, in: P.K. Dutta, J. Dutta (Eds.), *Multifaceted Development and Application of Biopolymers for Biology, Biomedicine and Nanotechnology*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 297-341.
- Lagaron J.M., Pardo M., Chiva A. "Filtro multicapa con propiedades antimicrobianas y su uso en aplicaciones de respiradores y mascarillas protectoras" Patente Española P202030319.
- Leung, N.H.L., Chu, D.K.W., Shiu, E.Y.C. et al., 2020. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nat Med* 26, 676–680 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0843-2>.

- Linares-Gil, C., Díaz-Jiménez, J. Clima, temperatura y propagación de la covid-19. Grupo de Análisis Científico de Coronavirus del ISCIII (GACC-ISCIII) <http://hdl.handle.net/20.500.12105/9635>
- Li Y., Qian H., Hang J., Chen X., Hong L., Liang P., Li J., Xiao S., Wei J., Liu Li., Kang M., 2020, preprint. Aerosol transmission of SARS-CoV-2: Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728>
- Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y. et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature* (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>
- Lu J, Gu J, Li K, Xu C, Su W, Lai Z, et al., 2020. COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerg Infect Dis.* 2020 Jul. <https://doi.org/10.3201/eid2607.200764>. https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0764_article.
- Milton DK, Fabian MP, Cowling BJ, Grantham ML, McDevitt JJ., 2013. Influenza virus aerosols in human exhaled breath: particle size, culturability, and effect of surgical masks. *PLoS Pathog.* 2013;9(3):e1003205. doi:10.1371/journal.ppat.1003205.
- Morawska L., Tang J.W., Bahnfleth W., Bluysen P.M. Boerstra A., Buonanno G., Cao J., Dancer S., Floto A., Franchimon F., Haworth Ch., Hogeling J., Isaxon Ch., Jimenez J.L. Kurnitski J., Li Y., Loomans M., Marks G., Marr L.C., Mazzarella L., Melikov A.K., Miller S., Milton D.K., Nazaroff W., Nielsen P.V., Noakes C., Peccia J., Querol X., Sekhar Ch., Seppänen O., Tanabe S.I., Tellier R., Tham K.W., Wargocki P., Wierzbicka A., Yao M., 2020. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?. *Environment International* (En prensa).
- Morawska L., Cao J. 2020. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment International*, 139: 105730.
- Muñoz-Bonilla, A., Ibarboure, E., Bordege, V., Fernandez-Garcia, M., Rodriguez-Hernández, J. 2010. Fabrication of Honeycomb-Structured Porous Surfaces Decorated with Glycopolymers, *Langmuir* 26(11):8552-8558.
- O'Donnell, C.D., Shukla, D. 2008. The Importance of Heparan Sulfate in Herpesvirus Infection, *Virology* 23(6):383-393.
- Park SY, Kim YM, Yi S, Lee S, Na BJ, Kim CB, et al., 2020. Coronavirus disease outbreak in call center, South Korea. *Emerg Infect Dis.* 2020 Aug. <https://doi.org/10.3201/eid2608.201274>. https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-1274_article.
- Taylor, S., and M. Tasi. 2018. Low indoor-air humidity in an assisted living facility is correlated with increased patient illness and cognitive decline. *Proceedings, Indoor Air 2018*,744:1–8.
- Tham K.W., Wargocki P., Wierzbicka A., Yao M., 2020, en revisión. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environment International*, under review.
- Mousavi, E., R. Lutz, F. Betz, and K. Grosskopf. 2019. Academic Research to Support Facility Guidelines Institute & ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170. ASHRAE Research Project CO-RP3. Atlanta: ASHRAE.

- Muñoz-Bonilla, A., Fernández-García, M., Rodríguez-Hernández, J. 2014. Towards hierarchically ordered functional porous polymeric surfaces prepared by the breath figures approach, *Prog. Polym. Sci.* 39(3):510-554
- Nishiura, H.; Oshitani, H.; Kobayashi, T.; Saito, T.; Sunagawa, T.; Matsui, T., et al., 2020, preprint. Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.28.20029272v2>.
- Noakes, C.J.; Khan, M.A.I.; Gilkeson, C.A. Modeling infection risk and energy use of upper-room Ultraviolet Germicidal Irradiation systems in multi-room environments. *Science and Technology for the Built Environment* 2015; 21:99-111
- Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 2007;
- OMS. Natural ventilation for infection control in health-care settings (https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation/en/) (accessed 14 April 2020). in: Chartier Y., Pessoa-Silva C., Li Y., Seto W.-H., eds: World Health Organization; 2009
- Phiri, M. Health Building Note 00-01 General design guidance for healthcare buildings eds: UK Government; 2014.
- REHVA. COVID-19 Guidance. April 2020. https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_ver2_20200403_1.pdf
- Rengasamy et al., 2010. Simple Respiratory Protection—Evaluation of the Filtration Performance of Cloth Masks and Common Fabric Materials Against 20–1000 nm Size Particles. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 54, No. 7, pp. 789–798, 2010. doi:10.1093/annhyg/meq044.
- Santarpia, D. N. Rivera, V. Herrera, M. J. Morwitzer, H. Creager, G. W. Santarpia, K. K. Crown, D. M. Brett-Major, E. Schnaubelt, M. J. Broadhurst, J. V. Lawler, St. P. Reid and J. J. Lowe, 2020, preprint. Transmission Potential of SARS-CoV-2 in Viral Shedding Observed at the University of Nebraska Medical Center. medRxiv preprint <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20039446>.
- SHASE. Role of ventilation in the control of the COVID-19 infection: Emergency presidential discourse. The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan (SHASE); 2020.
- Shen Y. et al., 2020, preprint. Airborne transmission of COVID-19: epidemiologic evidence from two outbreak investigations. DOI: 10.13140/RG.2.2.36685.38881.
- Siegel J.D., E. Rhinehart, M. Jackson, and L. Chiarello. 2007. 2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention, The Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee.
- Sonsecá, Á., Camarero-Espinosa, S., Peponi, L., Weder, C., Foster, E.J., Kenny, J.M., Giménez, E. 2014. Mechanical and shape-memory properties of poly(mannitol sebacate)/cellulose nanocrystal nanocomposites, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* 52(21):3123-3133.
- Sonsecá, A., Madani, S., Rodríguez, G., Hevilla, V., Echeverría, C., Fernández-García, M., Muñoz-Bonilla, A., Charef, N., Lopez, D. 2019. Multifunctional PLA Blends Containing Chitosan

- Mediated Silver Nanoparticles: Thermal, Mechanical, Antibacterial, and Degradation Properties, *Nanomaterials* (Basel) 10(1).
- Swathy, J.R., Sankar, M.U., Chaudhary, A., Aigal, Anshup, S., Pradeep, T. 2014. Antimicrobial silver: An unprecedented anion effect, *Scientific Reports* 4(1).
- Subhash, S.S., G. Baracco, K.P. Fennelly, M. Hodgson, and L.J. Radonovich, Jr. 2013. Isolation anterooms: Important components of airborne infection control. *American Journal of Infection Control* 41(5):452–55. DOI: 10.1016/j.ajic.2012.06.004.
- Tejero, R., López, D., López-Fabal, F., Gómez-Garcés, J.L., Fernández-García, M. 2015. Antimicrobial polymethacrylates based on quaternized 1,3-thiazole and 1,2,3-triazole side-chain groups, *Polym. Chem.* 6(18):3449-3459.
- Tejero, R., Gutiérrez, B., López, D., López-Fabal, F., Gómez-Garcés, J.L., Muñoz-Bonilla, A., Fernández-García, M. 2018. Tailoring Macromolecular Structure of Cationic Polymers towards Efficient Contact Active Antimicrobial Surfaces, *Polymers* 10(3):241
- Thoulouze, M.I., Alcover, A. 2011. Can viruses form biofilms?, *Trends Microbiol.* 19(6):257-262.
- van Doremalen N., Bushmaker T., Morris D.H., et al., 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med.* 2020;382(16):1564-1567. doi:10.1056/NEJMc2004973
- Walker, C.M.; Ko, G. Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environmental science & technology* 2007; 41:5460-5465
- Zhang, W., Mele, E. 2018. Phase separation events induce the coexistence of distinct nanostructures in electrospun fibres of poly(ethyl cyanoacrylate) and polycaprolactone, *Materials Today Communications* 16:135-141.
- Zheng, J., Zhang, H., Zhao, Z., Han, C.C. 2012. Construction of hierarchical structures by electrospinning or electrospraying, *Polymer* 53(2):546-554.
- Zhou, Z. , Lin, W. , Wu, X.-F. 2016. Electrospinning ultrathin continuous cellulose acetate fibers for high-flux water filtration, *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Aspects* 494:21-29.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Toda la información que se recoge en el presente informe ha sido elaborada de forma cuidadosa y metódica por diferentes investigadores tanto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas como de la Universidad, así como personal cualificado de los diferentes sectores del transporte aéreo, tren y carretera, a los cuales se les agradece enormemente su contribución.

Sin embargo, y teniendo en cuenta el problema que aquí se aborda, la información y/o la bibliografía consultada puede cambiar rápidamente. Se hace todo lo posible para proporcionar una información precisa y fiable. Los artículos consultados en fase de preprint, y por tanto sin haber sido todavía revisados por pares (*peer reviewed*), han sido identificados en el cuerpo del texto y en la lista de referencias.

Como consecuencia de esta variabilidad, los autores no se hacen responsables de los cambios repentinos e inesperados relacionados con la investigación, metodología, advertencias y recomendaciones que se produzcan. Se intentará, en sucesivas versiones de este documento, actualizarlo de forma adecuada recogiendo los cambios que se vayan produciendo.