

HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS MEDIANTE FILTROS HEPA

Hecho por

Marcos Sánchez Mayoral

“El mundo es un lugar peligroso. No por causa de los que hacen el mal, sino por aquellos que no hacen nada por evitarlo”

Albert Einstein

REV.	FECHA	DESCRIPCION	REALIZÓ	APROBÓ	VISTO
C	11-NOV-2020	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	MSM	MLS	AWA
B	12-OCT-202	Borrador	MSM	MLS	
A	11 OCT 2020	Copia de trabajo	MSM	MLS	

	PLANTA:				
	OBRA:				
	PARTE: ESTUDIO PRELIMINAR				
Este documento es propiedad de Marcos Sánchez Mayoral. Su uso está autorizado bajo licencia Creative Commons CC by 4.0.	REVISION: C		OBRA N°: ID.:		
			FECHA: 11NOV 2020		

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 1 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Índice

1	Resumen ejecutivo	2
1.1	Marco de referencia y naturaleza del proyecto.	2
1.2	Definición del problema a solucionar.	2
1.3	Definición del alcance del proyecto	3
1.4	Descripción del servicio que se brindará	3
1.5	Objetivos	3
1.6	Inversión inicial y coste por usuario	3
1.7	Fuentes de financiamiento	4
1.8	Forma de hacer negocio dentro del sector	4
2	Introducción	5
3	Documentación de Referencia	6
4	Consideraciones de partida	8
4.1	La transmisión de virus por aerosol	8
4.2	El uso de filtros HEPA como método de purificación de aire	10
4.2.1	Capacidad de filtración	10
4.2.2	Eficiencia en espacios cerrados	12
4.3	La importancia de la ventilación para la salud	19
5	Estado de la tecnología de purificadores HEPA en el mercado	21
6	Ubicación recomendada de filtros HEPA	24
6.1	Coloca el purificador de aire cerca de la fuente de contaminación	24
6.2	Evita interferencias de otros aparatos electrónicos	24
6.3	Uso en espacios abiertos	24
6.4	Mejor en alto que en el suelo	25
6.5	Mejor si el purificador es portátil	25
6.6	Mejor evitar lugares húmedos	25
6.7	Colocar lejos de obstáculos	25
6.8	Analizar la configuración adecuada	26
7	Caso práctico-aplicación a escuelas públicas	27
8	Variables financieras e inversión	32
9	Sectores propuestos de aplicación	34
10	Conclusiones	35
11	Anexo I-Guía para ventilación en aulas	36

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 2 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

1 Resumen ejecutivo

1.1 Marco de referencia y naturaleza del proyecto.

La Pandemia internacional del COVID-19 está creando no solo una crisis de salud, sino una crisis económica. Las medidas sanitarias actuales han dado resultados relevantes pero insuficientes para poder regresar a una normalidad en la que se pueda estar en espacios públicos y evitar la propagación de la infección. Esto desencadena impactos en la educación, salud e industria (principalmente en la hostelería) que impiden a largo plazo la recuperación del país, siendo la clase media/baja la más afectada.

La intención de este estudio es presentar un nivel de protección adicional en espacios públicos para disminuir la propagación del COVID-19 y permitir así la reactivación de los sectores sociales e industriales que están siendo afectados. Estudios recientes indican que el COVID-19 se transmite principalmente por partículas en suspensión o aerosoles en vez de gotas. Es aquí que la tecnología de filtros de purificación de aire, en particular los HEPA, presenta un interés particular. La tecnología HEPA y filtración de aire ha sido tradicionalmente usada en espacios públicos para prevenir transmisión de patógenos. Esta tecnología no mata virus, pero los contiene para evitar su retransmisión.

1.2 Definición del problema a solucionar.

"La ruta por la cual se transmiten las enfermedades respiratorias se puede clasificar de acuerdo con el tamaño de las partículas expelidas por los pacientes en gotas grandes y pequeñas (aerosoles). Esta clasificación establece unos cortes arbitrarios para el diámetro de las gotas (5 a 10 μm), a partir del cual se clasifica la transmisión de persona a persona según sea por gotas o por aerosol. Sin embargo, la rápida propagación internacional de COVID-19 sugiere que este modelo puede no reflejar con precisión lo que realmente ocurre con las emisiones respiratorias [1].

Estudios recientes han mostrado que tanto las exhalaciones, el estornudo o la tos no solo contienen gotas con un comportamiento balístico de corto alcance, sino que pueden estar compuestos de una nube de gas turbulenta multicapa. Esto es importante porque los grupos de gotas formarían un continuum de diferentes tamaños y, como consecuencia, algunas gotas podrían contaminar las superficies mientras que otras pueden evaporarse produciendo residuos de pequeño tamaño que podrían permanecer en el aire durante horas [1].

Algunos estudios en pacientes con COVID-19 apoyan esta observación. Por ejemplo, durante el aislamiento de 13 individuos positivos a COVID-19, se recogieron muestras de aire y en superficies de once salas de aislamiento [2]. Se recogieron muestras positivas a SARS-CoV-2 de la mayoría de los artículos personales de los pacientes (en el 76,5%), y las muestras de aire en las habitaciones resultaron positivas en un 63,2%, al igual que las muestras tomadas en pasillos (en un 66,7%) [2].

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 3 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

En este sentido, el mal uso de mascarillas o el uso de mascarillas no apropiadas (de tela) pueden llevar el riesgo de la contaminación por gases que tengan gotas en suspensión. Esto viene confirmado por estudios recientes de la revista Science[5], en el cual se indica que el medio de infección más probable es por aerosoles.

Como medida preventiva para evitar contaminación por gotas en suspensión o aerosoles se propone el uso de purificadores de aire en espacios públicos que no tengan buena ventilación, de manera tal que aquel porcentaje de virus que no sea retenido por las mascarillas y quede en el aire sea tratado creando una segunda capa de protección en espacios públicos cerrados.

1.3 Definición del alcance del proyecto

El alcance del proyecto es resumir el estado del arte de las tecnología de purificación de aire mediante filtración, en particular la HEPA, disponible en el mercado, para que el usuario en función de su situación económica decida si es posible su uso en su sector, por ejemplo escuelas, supermercados o domicilio.

1.4 Descripción del servicio que se brindará

Se ofrecerá la purificación del aire mediante el uso de filtros HEPA en Centros Educativos y Residencias de Mayores que no cumplan con el Documento Básico DB-HE2 (edificios anteriores al 2006). El proceso de purificación es en continuo por lo que se considera ventajoso contra las limpiezas discontinuas que tiene una habitación. Por otro lado la "Actualización nº 235. Enfermedad por el coronavirus", indica que estos dos sectores son propensos a producir el 25,8% de los casos de COVID-19 por lo que es de interés protegerlos.

1.5 Objetivos

Mediante una inversión razonable, establecer una estrategia de mejora de los sistemas ventilación con el fin de considerar su sinergia con el uso de equipos purificadores locales.

1.6 Inversión inicial y coste por usuario

Este estudio hace un ejercicio de aplicación práctica en un colegio de 1 100 m². La inversión inicial es de 22,14 euros/m² haciendo una inversión total de 24 357 euros. Estos valores parecen importantes si no tenemos en cuenta el ratio coste/usuario-día. Si se considera el coste por usuario al día y considerando una vida útil de 3 años, el coste de purificación de un colegio puede ser tan bajo como 0,044 euros/usuario-día. Por otro lado, considerando el alto coste que tiene un paciente COVID-19 en UCI, esta inversión se ve amortizada con evitar solo 3 pacientes en sala UCI.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 4 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

1.7 Fuentes de financiamiento

El proyecto al ser de un carácter social puede ser autofinanciado, mediante recursos estatales o obras sociales. Una autofinanciación implica un coste por usuario pequeño, con un préstamo a 3 años con interés al 5% se traduce en un coste de 1,46 euros/usuario-mes.

1.8 Forma de hacer negocio dentro del sector

La inversión en purificadores de aire se traduce en una reducción de los costes sanitarios. El coste medio de un paciente de COVID-19 es 250 euros diarios en caso de hospitalización normal y 750 euros diarios en caso de internamiento UCI[3], por lo que el prevenir para disminuir la probabilidad de infección no es solo ventajoso de para la salud pública sino también para las arcas del Estado.

Finalmente, existe un beneficio secundario ya que al liberar camas hospitalarias se liberan camas para pacientes (por ejemplo, de cáncer) que no pueden ser tratados ya sea porque no hay espacio o por temor a la infección por COVID-19. Esto redundaría en un coste sanitario más eficiente no solo por el tratamiento de enfermedades sino por la capacidad de prevención de otras enfermedades que actualmente no son críticas para el paciente pero que pueden evolucionar de una manera crítica sin tratamiento, dado que los enfermos no asisten a la asistencia sanitaria por temor.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 5 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

2 Introducción

Ante el riesgo sanitario por pandemia mundial por el coronavirus COVID-19, se requiere una planificación estratégica para garantizar la salud pública y la reactivación de la economía con la rapidez sanitaria adecuada. Muchas estrategias pueden considerarse posibles y plausibles, en este estudio la premisa es la prevención. Siempre es más barato y efectivo prevenir que curar.

Para hacer un símil, es mejor gastarse 1 euro en un preservativo que invertir 20 000 euros en curarse del VIH. Una situación similar pasa con el coronavirus, es mejor prevenir enfermos que curarlos.

Los Estados ante esta situación han implementado medidas como el distanciamiento social y el uso de mascarillas lo cual ha disminuido la infección pero no la ha paralizado en la manera efectiva deseada. Esto se traduce en la necesidad de nuevos confinamientos y pérdidas económicas.

El autor de este estudio promueve un segundo nivel de protección para las partículas en suspensión o aerosoles emitidos por el ser humano. Aquellas emisiones que pudieran ser capaces de propagarse por un mal uso de la mascarillas o aerosoles, pueden ser purificadas por un segundo nivel de profilaxis mediante el tratamiento filtros HEPA.

Tres ventajas estratégicas que se observan:

- El coste de la inversión es menor que el del tratamiento de un enfermo de COVID-19.
- La purificación por filtros HEPA no solo es capaz de tratar el COVID-19, sino que purifica otros tipos de bacterias, virus, esporas de moho, levaduras y protozoos.
- En el mercado existen equipos para salas de gran tamaño al igual que para salas de pequeñas dimensiones.

El objetivo de este estudio, por tanto, consiste en dar las premisas de estos argumentos. El autor clarifica que este estudio está basado en información disponible en la red y debe ser contrastado con estudios de viabilidad más profundos para cada situación antes de generar una inversión de capital. La información mostrada en este documento es, en mayor parte, extraída de las referencias indicadas en la sección 3. El autor añade interpretaciones de esta información en función del contexto de este documento.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 6 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

3 Documentación de Referencia

- (1) Dos estudios muestran resultados inconsistentes sobre el uso de mascarillas para prevenir la transmisión del coronavirus en pacientes con síntomas<https://es.cochrane.org/es/dos-estudios-muestran-resultados-inconsistentes-sobre-el-uso-de-mascarillas-para-prevenir-la>
- (2) Santarpia J. Transmission Potential of SARS-CoV-2 in Viral Shedding Observed at the University of Nebraska Medical Center preprints from medRxiv and bioRxiv[doi:10.1101/2020.03.23.20039446](https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20039446)
- (3) La hospitalización en UCI de cada enfermo con coronavirus cuesta hasta 750 euros diarios <https://www.lavanguardia.com/seguros/medicos/20200318/474240319327/uci-COVID-19-pandemia-coronavirus-aspe-hospitales.html>
- (4) Hospitalizaciones por COVID duplican plazos estándar en UCI y llegan a 55 días<https://www.latercera.com/nacional/noticia/hospitalizaciones-por-COVID-duplican-plazos-estandar-en-uci-y-llegan-a-55-dias/6LTOPIY6UZETTJ4WWB5J46S6SA/>
- (5) Airborne transmission of SARS-CoV-2, Kimberly A. Prather¹, Linsey C. Marr², Robert T. Schooley, Melissa A. McDiarmid, Mary E. Wilson
- (6) La diferencia entre las mascarillas N95, las mascarillas quirúrgicas y las mascarillas de tela<https://www.massgeneral.org/es/coronavirus/la-diferencia-entre-las-mascarillas-N95-las-mascarillas-quirurgicas-y-las-mascarillas-de-tela>
- (7) El experimento que muestra el peligro de las mascarillas con válvula y las pantallas en el contagio del virushttps://www.niusdiario.es/sociedad/sanidad/video-mascarilla-valvula-visera-estornudo-contagio-coronavirus_18_3004845045.html
- (8) Informe Técnico – COVID-19 y uso de mascarillas, Consejo General de colegios Farmacéuticos
- (9) Efficiency of HEPA filtershttps://www.hamilton-medical.com/es_ES/E-Learning-and-Education/Knowledge-Base/Knowledge-Base-Detail~2020-03-18~Efficiency-of-HEPA-filters~d5358f88-753e-4644-91c6-5c7b862e941f~.html#DataTables_Table_0=od3
- (10) Perry J.L., Agui J.H., Vijayakumar R. Submicron and Nanoparticulate Matter Removal by HEPA-Rated Media Filters and Packed Beds of Granular Materials.
NASA/TM—2016–218224
<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170005166.pdf>
- (11) La ventilación en los colegios será clave para evitar los contagios.
https://www.vozpopuli.com/altavoz/next/COVID-colegios-ventilacion-clases_0_1389761844.html
- (12) Guía de recomendaciones preventivas en calidad del aire interior, para centros sanitarios frente al coronavirus(SARS-COV-2), FEDECAI
- (13) Serie 800 Purificador de aire estancias pequeñas hasta 49m²https://www.philips.es/c-p/AC0819_10/series-800-purificador-de-aire-estancias-pequenas-hasta-49m2
- (14) Dónde Colocar un Purificador de Aire<https://mipurificadordeaire.com/donde-colocar-un-purificador-de-aire/>

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 7 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

(15) The effectiveness of an air cleaner in controlling droplet/aerosol particle dispersion emitted from a patient's mouth in the indoor environment of dental clinics.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2880082/>

(16) Air purifiers: A supplementary measure to remove airborne SARS-CoV-2,

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7180358/>

(17) Evaluation of In-Room Particulate Matter Air Filtration Devices,United States

Environmental Protection Agency

(18) N95 Respirators, Surgical Masks, and Face Masks<https://www.fda.gov/medical-devices/personal-protective-equipment-infection-control/n95-respirators-surgical-masks-and-face-masks>

(19) Actualización nº 235. Enfermedad por el coronavirus (COVID-19). 23.10.2020"

(20)Actualización nº 230. Enfermedad por el coronavirus (COVID-19). 16.10.2020

(21)DATOS COVID-19 COMUNIDAD DE MADRID 22.10-2020

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 8 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

4 Consideraciones de partida

4.1 La transmisión de virus por aerosol

La diferencia entre la transmisión aérea por aerosol y la transmisión por gotas es que el aerosol se mantiene suspendido en el aire y se desplaza a distancias más grandes. Estudios actuales indican que éste puede ser el medio de transmisión principal del COVID-19 [5].

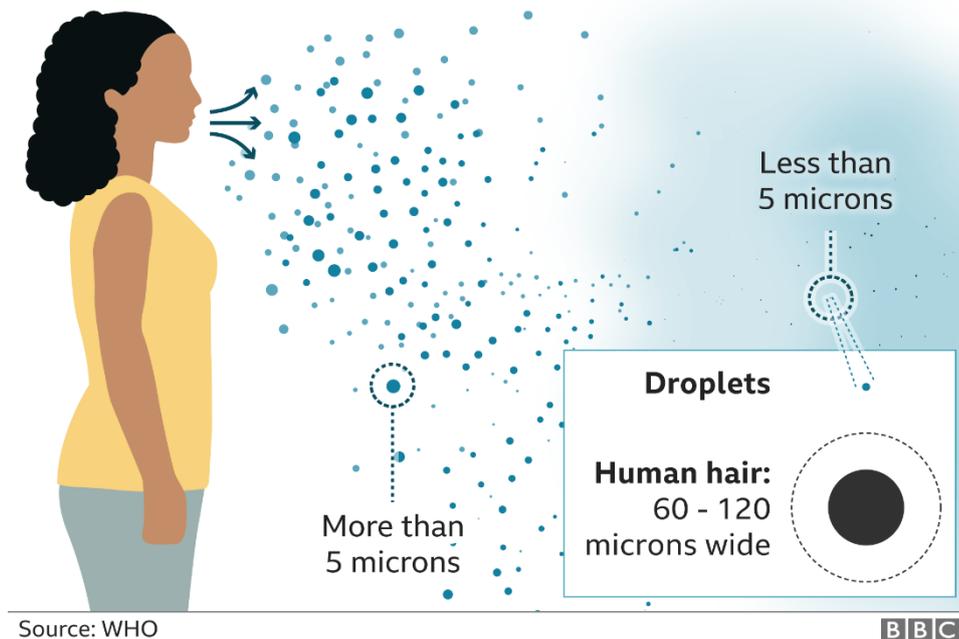
The difference between droplet and airborne transmission

Droplet transmission

Coughs and sneezes can spread droplets of saliva and mucus

Airborne transmission

Tiny particles, possibly produced by talking, are suspended in the air for longer and travel further



Las gotas son partículas grandes de líquido que suele producir alguien que ha tosido o estornudado. Debido a su tamaño, las gotas no suelen viajar muy lejos antes de caer a la superficie. Así es como se puede producir la transmisión hacia una superficie; como la manija de una puerta; y generar un área contaminada.

Los aerosoles, por otra parte, son partículas extremadamente pequeñas tan livianas que pueden estar suspendidas en el aire por un tiempo prolongado. Además de propagarse por la tos y los estornudos, los aerosoles también pueden liberarse al hablar o al respirar.

Este efecto hay que razonarlo de la siguiente manera: las gotas actúan como la lluvia, mientras que los aerosoles actúan como la neblina. Si llueve y una persona camina bajo un tejado no se mojará porque el techo retiene el agua y por gravedad las gotas de lluvia caen al suelo (salvo

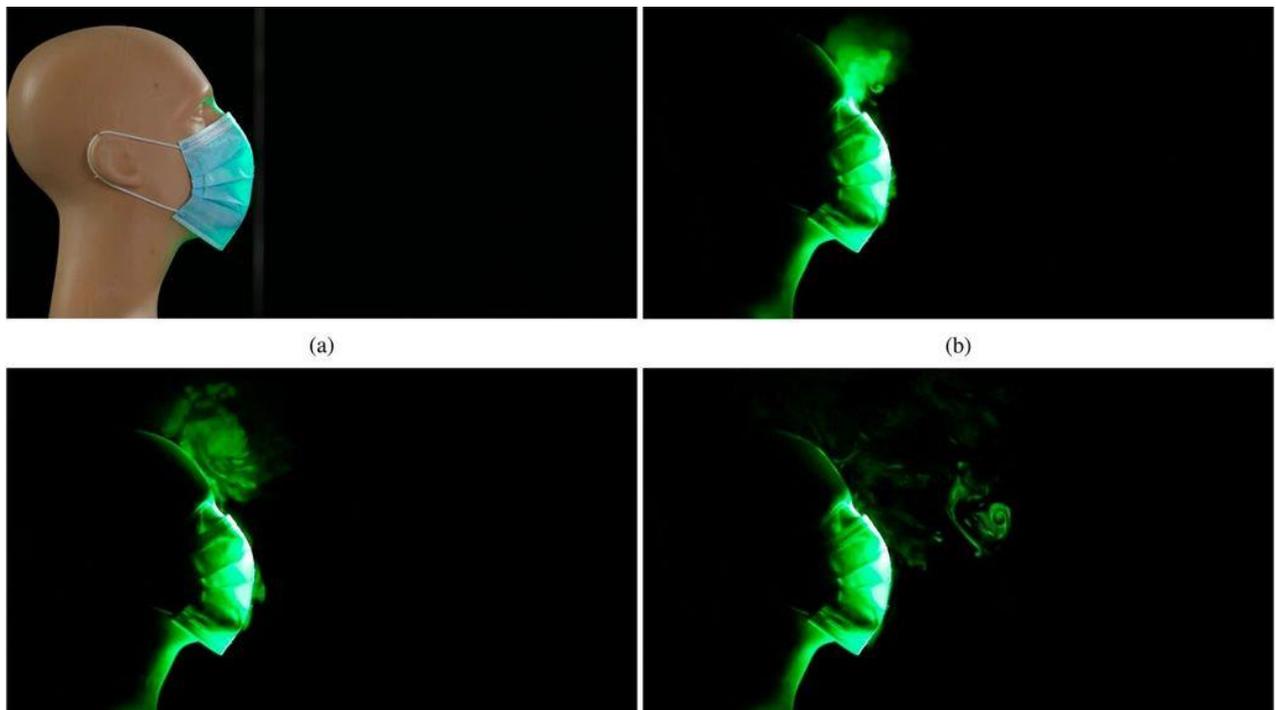
	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 9 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

que haya viento). La neblina, por otro lado, es tan ligera que puede flotar y ocupar casi cualquier espacio[6].

Las mascarillas quirúrgicas son las más utilizadas, en general. "El beneficio de la mascarilla quirúrgica es que es resistente a los fluidos y puede proteger contra gotas grandes o salpicaduras de fluidos corporales. Además, no requiere pruebas de ajuste".

A diferencia de las N95/FFP2, las mascarillas quirúrgicas no protegen contra los aerosoles y no son una protección suficiente cuando se está en contacto directo con los pacientes con el COVID-19 durante los procedimientos que generan aerosoles [6]. Los aerosoles que pueden ser fuente de contaminación son aquellos generados por toz o estornudos [18].

De igual manera estudios indican que la calidad de las mascarillas quirúrgicas puede afectar la distribución de los aerosoles en el ambiente[7]:



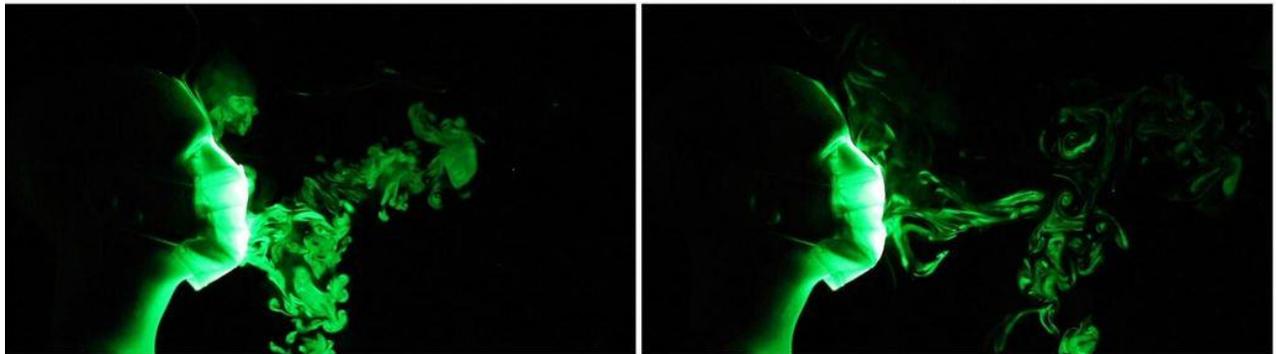
Simulación con una mascarilla desechable de calidad normal

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 10 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	



(a)

(b)



Simulación con una mascarilla desechable de baja calidad

Esto hace pensar que la mascarilla quirúrgica y la distancia social son efectivos para evitar la contaminación por gotas, pero un segundo nivel de protección se debe considerar para los aerosoles. En esta línea, Consejo General de Colegios Farmacéuticos [8] recomienda el uso de mascarillas FFP2 y FFP3 para casos en que se generen aerosoles, pero su uso está actualmente limitado para uso sanitario al ser este personal el de mayor riesgo a ser infectado.

4.2 El uso de filtros HEPA como método de purificación de aire

4.2.1 Capacidad de filtración

El uso de los filtros HEPA es una intervención ambiental importante que puede reducir tanto la propagación por contacto como la transmisión de agentes infecciosos (como bacterias y virus) a través del aire.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 11 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	



Filtro HEPA

El tamaño de algunas bacterias conocidas es el siguiente:

Influenza A: .0,08-0,12 μ m

HIV:0,08 μ m

Hepatitis C: 0,05 μ m

Mycobacterium Tuberculosis: 1,0 μ m

Las especies de coronavirus COVID-2019, MERS-CoV and SARS-CoV tienen un rango de tamaño entre 0,06 a 0,2 μ m

Es de creencia común que los filtros HEPA son capaces de capturar partículas de 0,3 μ m o mayores. Sin embargo, esta creencia está basada en un entendimiento erróneo de como un filtro HEPA funciona. Los hechos nos dicen que las partículas de 0.3 μ m son las más difíciles de capturar [9,10], por eso este valor es el que se usa como medida de efectividad de los filtros HEPA. Partículas de menor tamaño son más fáciles de capturar. ¿Pero por qué sucede esto?

En el caso de las partículas de gran tamaño, el filtro HEPA actúa como una red. Las partículas de diámetro mayor a 0,3 μ m no pueden pasar por los agujeros. En el caso de las partículas de menor tamaño, pudiera parecer lógico que éstas simplemente pasan por los agujeros. Sin embargo, éste no es el caso. La masa tan pequeña de las partículas de 0,3 μ m tal que no se transportan en línea recta; por el contrario, ellas rebotan con otras partículas y mientras colisionan se desplazan con movimientos aleatorios. Como resultado, ellas golpean las fibras de los filtros y se mantienen adheridos a ellos. Éste es el principio del movimiento Browniano.

Las pruebas de la NASA [9,10] han mostrado que los filtros HEPA son muy efectivos y pueden llegar a capturar hasta un 100% de nano partículas. Las partículas de 0,3 μ m suelen tener una pequeña disminución en la eficiencia de retención de un filtro HEPA; este tamaño se le suele llamar el tamaño de partícula más penetrante (en inglés MPPS) en los estándares de los filtros HEPA.

De acuerdo a los estándares europeos, hay 17 clases de filtros (entre más alta la clase, más alta la eficiencia). Las clases E10 a E12 son filtros EPA (Efficient Particulate Filter), H13 y H14 son filtros HEPA (High Efficient Particulate Filter) y U15 a U17 son filtros ULPA (Ultra Low Penetration Air).

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 12 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

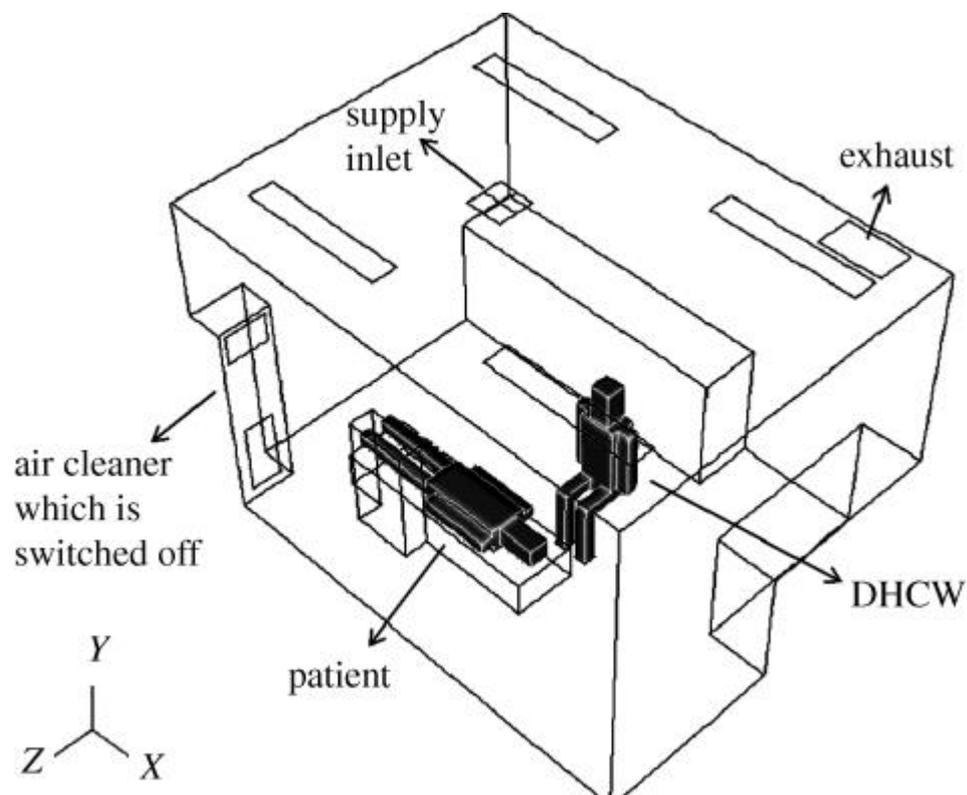
Estas clases están cubiertas por el estándar europeo EN 1822, el cual sirve para establecer la capacidad de filtración del MPPS. De acuerdo a este estándar, un filtro HEPA debe remover por lo menos el 99,95% de las partículas de $0,3 \mu\text{m}$ y mayores. Los estándares americanos requieren filtrar un 99,97% de las partículas de $0,3 \mu\text{m}$ para calificar a un filtro como HEPA. En otras palabras, por cada 10 000 partículas del tamaño de $0,3 \mu\text{m}$ solo tres de ellas pasarían [9,10].

Es por esta eficiencia que los purificadores son una ventaja para evitar la infección por virus en un aerosol.

4.2.2 Eficiencia en espacios cerrados

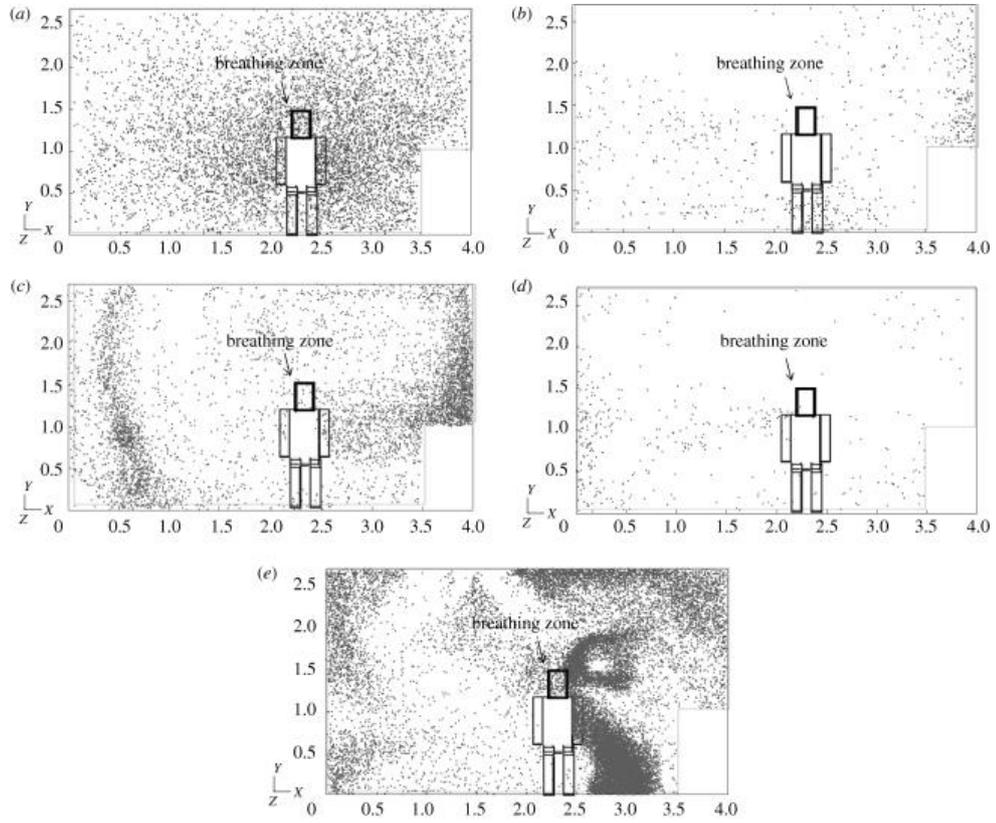
El uso de purificadores como medida de prevención de contaminación por aerosoles ha sido estudiado en ambientes contaminantes como el caso de clínicas dentales [15], dando resultados que muestran su efectividad. Chen et al, estudiaron 4 casos por simulación computacional de dinámica de fluidos (CFD en inglés):

- a) Caso 0: Sin purificador
- b) Caso 1: En la pared de la clínica.
- c) Caso 2: Cerca de los pies del paciente
- d) Caso 3: Cerca de la cabeza del paciente
- e) Caso 4: Detrás del personal clínico (DHCW en inglés). En este caso fluye en la dirección Z en lugar de la X

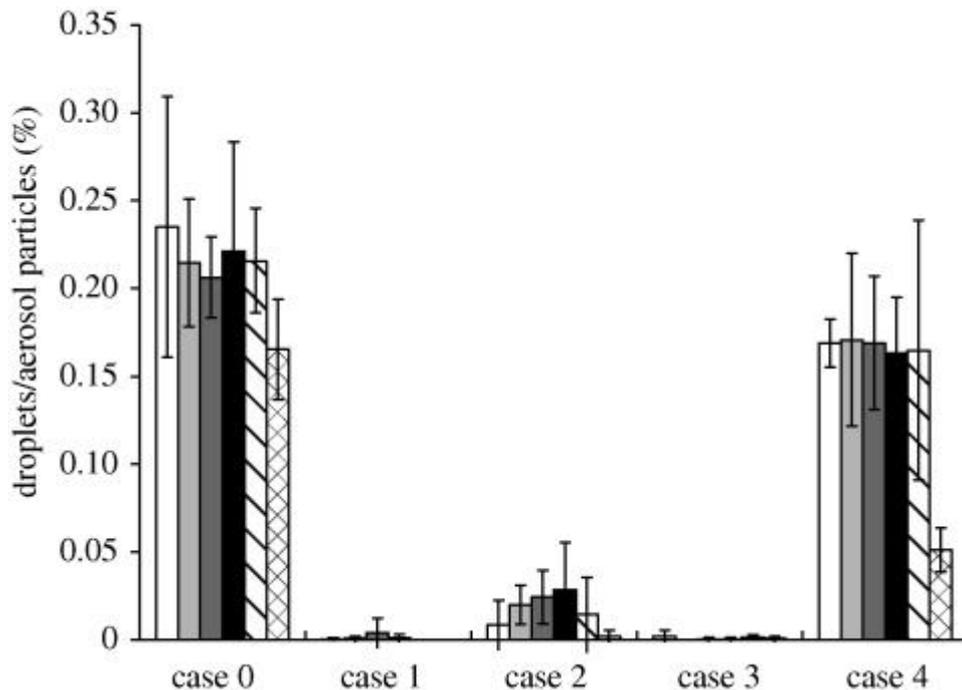


	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS	
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 13 de 36
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C

Los resultados de esta investigación se muestran a continuación:

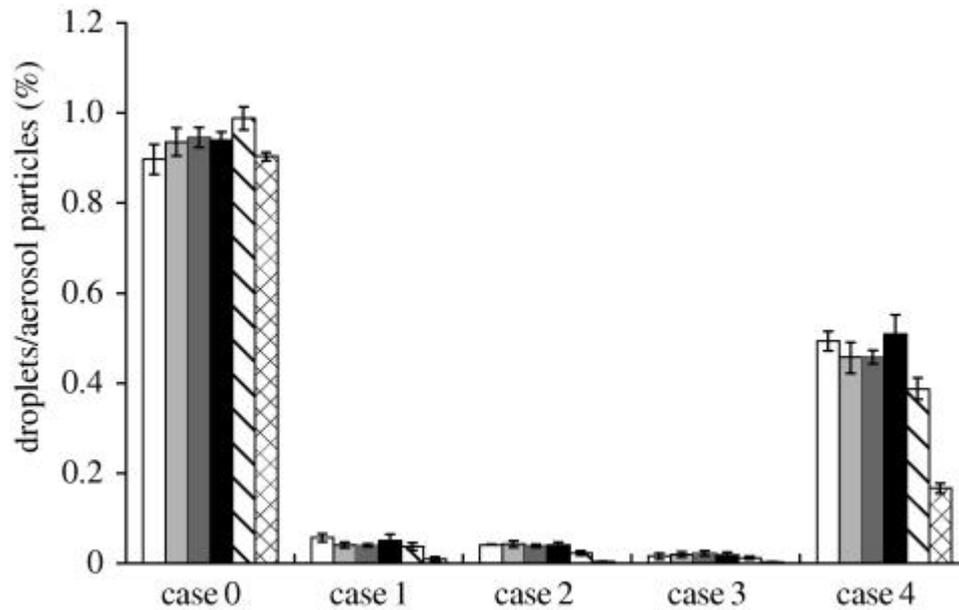


Dispersión de partículas cerca de la zona de respiración del personal clínico. a) Caso 0, b) Caso 1, c) Caso 2, d) Caso 3, e) Caso 4.

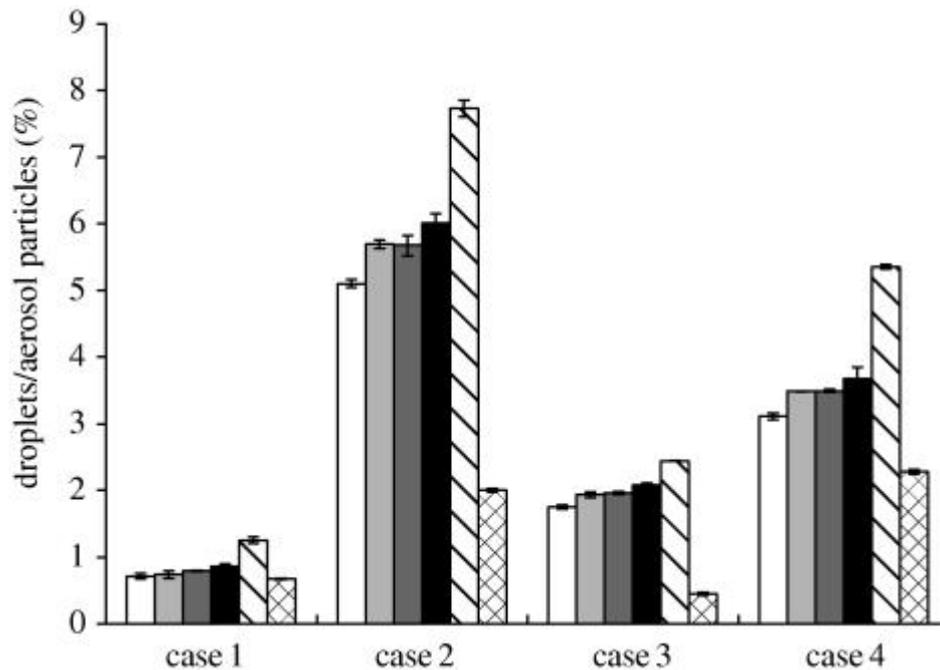


Porcentaje de gotas/aerosoles que entran en la zona de respiración del personal clínico. Barra blanca 0,3 μm, barra gris clara 0,5 μm, barra gris oscuro 1,0μm, barra a rayas 2 μm, barra marcada 20 μm

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS	
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 14 de 36
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C



Porcentaje de gotas/aerosoles que entran en contacto con el cuerpo del personal clínico. Barra blanca 0,3 μm, barra gris clara 0,5 μm, barra gris oscuro 1,0 μm, barra a rayas 2 μm, barra marcada 20 μm



Porcentaje de gotas/aerosoles removidos por el purificador. Barra blanca 0,3 μm, barra gris clara 0,5 μm, barra gris oscuro 1,0 μm, barra a rayas 2 μm, barra marcada 20 μm.

De acuerdo al estudio de Chen et al, alrededor del 90% de las partículas emitidas por el paciente quedarían en su cuerpo en todos los casos. A pesar de que el caso 3 no es el más eficiente en remover las partículas del ambiente, si analizamos los resultados se concluye que el mejor método para evitar la contaminación del personal médico es ubicar el purificador cerca de la cabeza del paciente.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 15 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Las conclusiones principales de este estudio indican que:

- El uso de purificadores puede ser una medida efectiva para reducir el contacto del personal clínico con aerosoles en ambientes cerrados como las clínicas dentales.
- La posición del purificador en una clínica dental es particularmente importante para controlar la dispersión de aerosoles y partículas. El combinar la ubicación del purificador cerca de la fuente de emisión del aerosol/partícula y la ubicación relativa purificador-fuente-personal clínico, es un método efectivo para reducir la exposición del personal clínico a aerosoles/partículas emitidas por un paciente.
- El considerar solo la probabilidad de remover el aerosol/gota por el purificador no es suficiente para caracterizar el efecto controlador de un purificador. La dirección del flujo aire desde el purificador es importante.

El modelo utilizado en este estudio de 2009 SOTO-AE/COD601F físicamente corresponde a la siguiente imagen:



La aspiración y la expulsión de gases es lateral. Los purificadores modernos tienen una ventaja adicional y es que el aire entra por un lado con un radio 360° en algunos modelos y se direcciona hacia arriba, por lo que es fácil de ubicarlo para que el aire se lleve fuera de alcance del usuario.

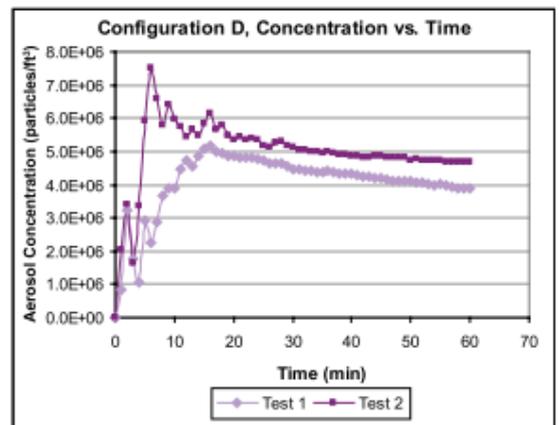
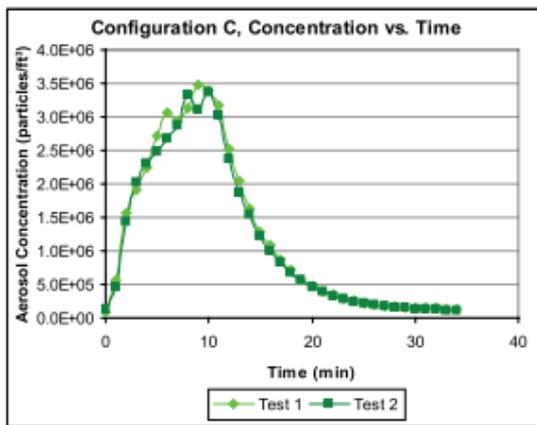
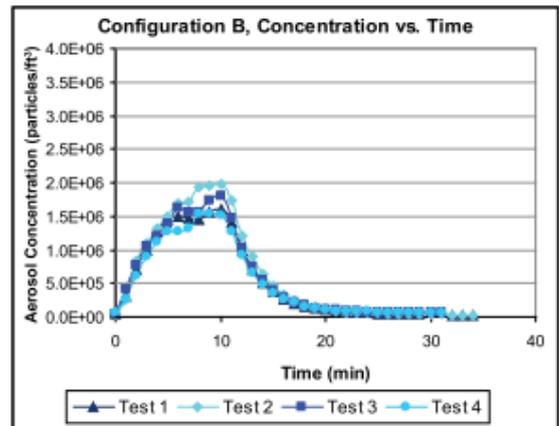
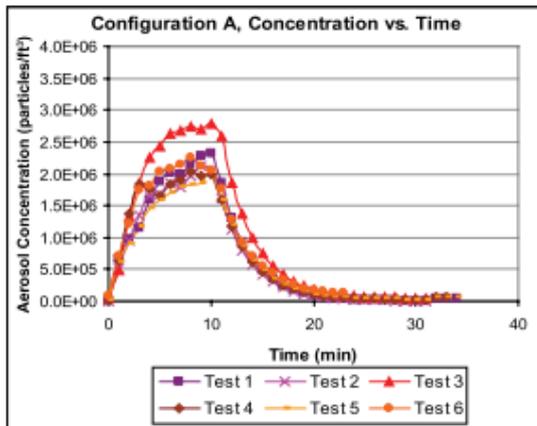
	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 16 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	



Analizando los gráficos de Chen et al, podemos observar que en el peor de los casos (caso 4) la probabilidad de contacto con aerosoles en la zona de respiración se reduce en un 30% y en un 43% el contacto con gotas el cuerpo. En el mejor de los casos (caso 3) se da una efectividad de un 97%.

Estudios de la Agencia de Protección de Medioambiente Americana demuestran el impacto [17] en la reducción de partícula suspendidas de los filtros HEPA durante el tiempo:

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 17 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	



Cada gráfico corresponde a las configuraciones que se muestran a continuación. En el gráfico D, siendo el caso sin purificador, se observa el impacto importante que tiene un purificador en la disminución de las partículas en suspensión en el aire, reduciendo la concentración de aerosoles en alrededor de 20 min cuando sin él puede durar la sala contaminada por horas:

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 18 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

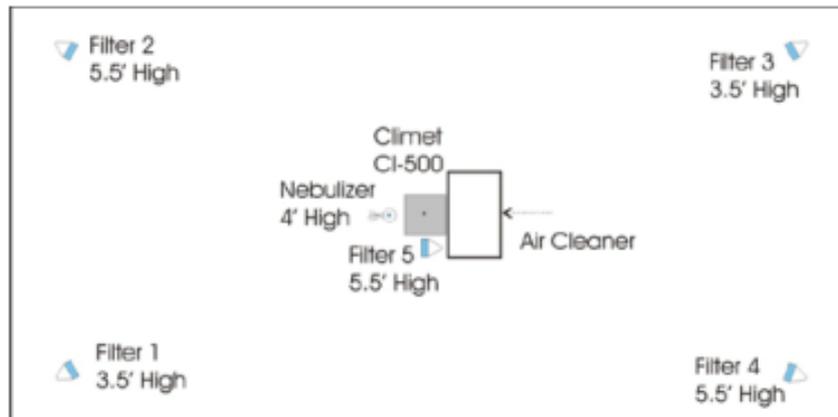


Figure 16. In-Room Test Configuration A



Figure 17. In-Room Test Configuration B

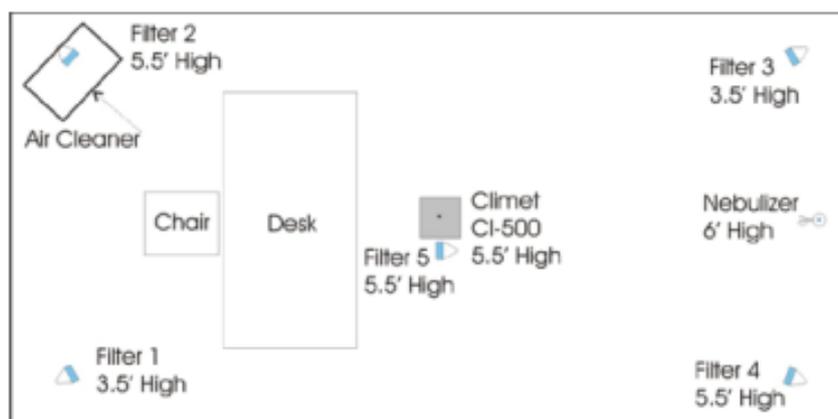


Figure 18. In-Room Test Configuration C

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 19 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

4.3 La importancia de la ventilación para la salud

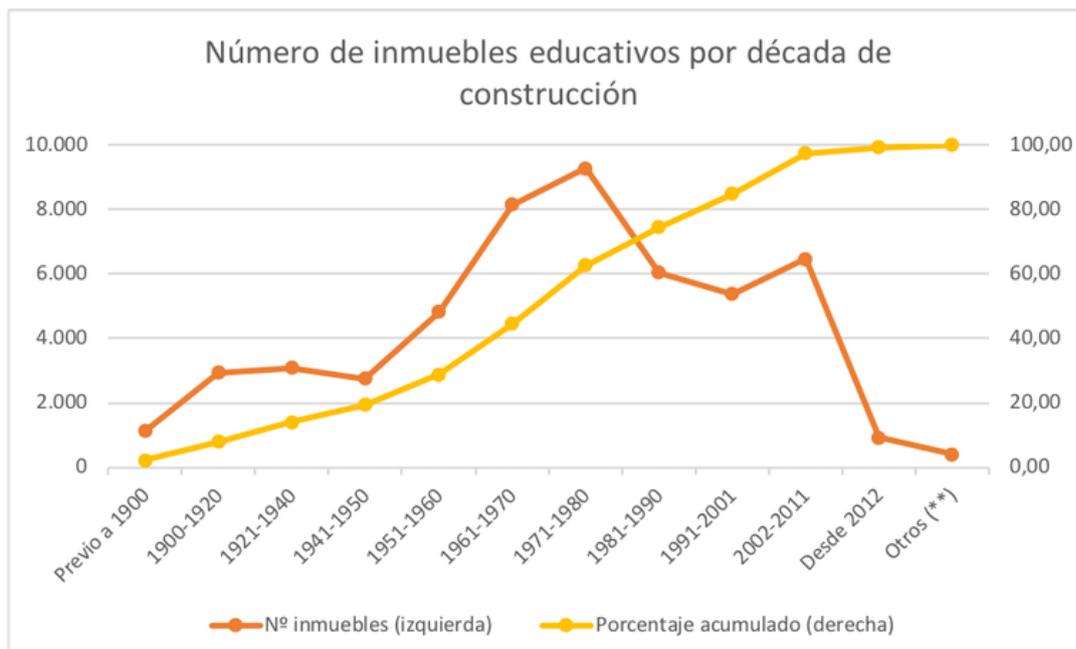
La ventilación es la forma más antigua y universal de eliminar sustancias no deseables de diverso origen en interiores. Se renueva el aire interior, viciado, mediante la entrada de aire del exterior.

La exposición excesiva a altas concentraciones de estas sustancias genera en los usuarios problemas de salud, baja concentración y mayor absentismo. Una buena ventilación, además, elimina la humedad ambiental. Por lo tanto, la ventilación en interiores y la salud están directamente relacionadas.

La ventilación puede ser natural (abriendo huecos al exterior), mecánica (mediante ventiladores de entrada y/o salida, que dirigen el aire por conductos a través de filtros y otros elementos), o híbrida. Los dos últimos son sistemas controlados, y suelen integrarse en la climatización de edificios no residenciales.

Según [11] artículos de Voz Populi, la normativa española sobre calidad del aire interior y ventilación para espacios docentes es el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), a partir del Código Técnico de la Edificación (CTE), (Documento Básico DB-HE2, sobre Condiciones de las Instalaciones Térmicas).

Entre el 90 y el 95 % de los edificios docentes se construyó antes de la citada normativa (2006), que promovió exigencias efectivas en ventilación, calidad del aire y confort interior. Un 60% de estos centros se creó antes de que existiera alguna normativa relacionada (1980).



Según norma, los edificios docentes precisan buena calidad de aire interior: 12,5 l/s y persona.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 20 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Uno de los métodos de cálculo en ventilación se basa en las renovaciones de aire por hora (r/h) para los espacios analizados. Este valor depende del volumen de la estancia y su ocupación. Algunos colegios profesionales y otros estudios aconsejan entre 6 y 10 r/h. Para las dimensiones y ratios en aulas parece razonable. Este valor se ve validado por las recomendaciones de FEDECAI para salas con SAR-COV-2 [12] en el cual se plantea que las salas generales de hospitalización que reciben pacientes con infección COVID-19 deben tener un valor de 5 r/h.

La ventilación natural necesita diferencias de temperatura exterior-interior, o la acción del viento. Su efectividad varía según:

- Diseño del edificio.
- Orientación a vientos predominantes.
- Obstáculos del entorno.
- Relación de superficies de huecos al exterior y su disposición.
- Número de ocupantes.
- Volumen de los espacios.
- Pautas de uso del espacio y de apertura de huecos.
- Condiciones climáticas y otras perturbaciones provenientes del exterior.

Estas y otras razones llevan al mal funcionamiento de la ventilación natural en muchos centros docentes españoles. [11]

Es así que a falta de garantizar una ventilación natural suficiente y evitar contaminación cruzada, el uso de filtros HEPA se vuelve interesante. Esta protección adicional complementaría a las sanitarias (uso correcto de mascarilla, limpieza frecuente de manos, superficies y espacios, y distancia interpersonal).

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 21 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

5 Estado de la tecnología de purificadores HEPA en el mercado

La tecnología de purificación de aire mediante filtros HEPA no es una innovación. Existe una gran variedad de productos de uso doméstico que pueden ser seleccionados en el mercado.

Como ejemplo de las características típicas de equipos escogemos el modelo S800 AC0820/10 de Phillips.



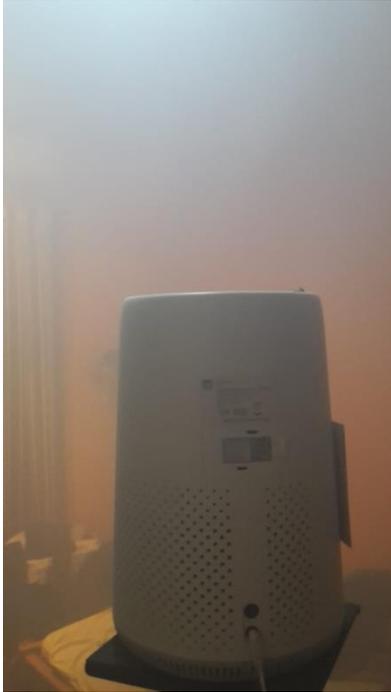
Este modelo posee la capacidad de trabajar en modo automático, reposo o turbo y contiene un sensor en la parte superior que indica la calidad del aire, lo que lo hace muy útil para la detección de partículas.



	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 22 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Esta característica no es exclusiva de este modelo, muchos otros equipos poseen la capacidad de detección de partículas. Además, incluye un sensor que indica al usuario cuando hay que cambiar su filtro. Su flujo volumétrico es 190 m³/h y sus especificaciones indican que puede limpiar completamente una sala de 20 m² (48 m³) en 16 min.

El autor ha testado este producto en una habitación similar donde se puede ver la efectividad de este tipo de productos utilizando una máquina de humo artificial:



Minuto 0



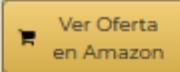
Minuto 16

Su precio en mercado es de 144 euros, su limpieza mediante aspirador se recomienda cada mes así como cambiar su filtro cada año por 18 euros.

El producto afirma que elimina 99,97% de micro partículas de 3 nm (0,003 micrones) por lo que cubriría el rango de diámetro de partícula de los coronavirus 0,06 a 0,2µm.[13].

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 23 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Los modelos más populares se muestran a continuación:

Nombre	Purificador de aire WINIX ZERO (hasta 99 m ² , purificador de aire para personas alérgicas, polen, polvo fino (PM2.5), polvo, con filtro HEPA (99,97%) y filtro de carbón)	Beurer LR-300 Purificador de aire, 55 W	Philips AC0820/10 Purificador De Aire Para Hogar, Elimina Hasta 99,5% De Los Alérgenos, Tamaño Compacto Con Indicación En Color Y Silencios, blanco/negro, Superficie: 49 m ²	Xiaomi Mi Air Purifier 2s EU version - Purificador de aire, conexión WiFi y pantalla display, para estancias hasta 37m ² , 310m ³ /h, Blanco, 52 x 24 x 24 cm	Rowenta PU4020 Intense Pure Air - Purificador de aire, hasta 60 m ² con sensores del nivel de contaminación, 4 niveles de filtración y tecnología NanoCaptur para sustancias contaminantes, 45 dB
Imagen					
Precio					
HEPA	✓	✓	✓	✓	✓
Ruido	22 dB	Silencioso	35 - 61 dB	Imperceptible	De 22 dB a 45 dB
Elimina olores de cocina y tabaco	✓	✓	✓	✓	✓
Area	99 m ²	35 m ²	49 m ²	37 m ²	60 m ²
Elimina virus y bacterias	✓	✓	✓	✓	✓

Los purificadores, en líneas generales, están basados en una altura de habitación de 2,4 m y están diseñados para dar 3 r/h. Por lo que, si se tiene el objeto de cumplir el criterio de 6 r/h, se necesitan dos equipos en lugar de 1 por el área recomendada. En todo caso es importante tener el flujo volumétrica para hacer una selección adecuada del equipo..

Modelo	Peso (kg)	Capacidad volumétrica (m ³ /h)	Precio (€)
Winix Zero	7,0	390	219
Beurer LR-300	4,5	N/D	363
Phillips AC0820/10	2,4	190	144
Xiaomi Mi air 2S*	4,5	310	149
Rowenta PU4020	5,7	150	199

*El modelo Xiaomi entre estas opciones parece el más interesante en función de su flujo volumétrico/precio, sin embargo el autor observa que dicha capacidad viene determinada por la norma Q/BJZMK0001-2015 de la cual no se encuentra información en la red.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 24 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

6 Ubicación recomendada de filtros HEPA

A continuación, se muestra (de forma justificada) **consejos** sobre los mejores sitios para colocar un purificador[14]:

6.1 Coloca el purificador de aire cerca de la fuente de contaminación

Lo más lógico es colocar el aparato lo más cerca posible de la fuente de contaminación. Por ejemplo: si vives en una casa con garaje y el garaje tiene puerta de acceso a la vivienda, puedes colocar el purificador más cerca de esa puerta, para eliminar los gases nocivos y contaminantes del escape y que no pasen al resto de la vivienda.

Otro ejemplo: si alguien de la familia fuma en su habitación, coloca ahí un purificador para eliminar cuanto antes el olor y humo del tabaco (sin afectar al resto de la casa).

6.2 Evita interferencias de otros aparatos electrónicos

Como dispositivos electrónicos que son, es aconsejable no colocar un purificador de aire cerca de otros aparatos, como televisores, altavoces, equipos de música, hornos microondas, routers, etc., con el fin de evitar interferencias que pudieran afectar a su buen funcionamiento.

6.3 Uso en espacios abiertos

Es común que abramos las puertas del balcón y ventanas de nuestra vivienda para que entre aire fresco y ventilar, pero de esta manera también entran en mayor medida las partículas, olores y gases contaminantes externos.

Un purificador de aire funciona de forma eficiente contra contaminantes externos cuando las puertas y ventanas están cerradas. Existen purificadores inteligentes como los de Xiaomi que se paran cuando se abre una ventana y vuelven a funcionar cuando se cierra.

Si un purificador está filtrando los contaminantes de tu habitación y abres la ventana, estarán entrando muchos más contaminantes externos que harán que el aparato no tenga la capacidad suficiente para purificar todas las partículas en el aire. El sensor de partículas de un filtro HEPA no distingue entre aerosoles, polvo o polen, al detectar partículas que provienen del exterior en el aire se activara. Esto provocará que funcione a máxima velocidad forzando sus mecanismos y reduciendo su vida útil.

En el caso de la prevención del COVID-19 se busca proteger contaminantes internos que se generan dentro de una habitación (producidos al toser o estornudar), en este sentido es de interés ventilar para que el aerosol salga de la habitación.

En esta propuesta se propone el uso de filtros HEPA en el caso que no se garantice una ventilación adecuada. Si es posible ventilar adecuadamente esta inversión no es necesaria. Para más detalles de cómo ventilar adecuadamente ver el Anexo I -Guía para ventilación en aulas.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 25 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Los espacios con ventilación insuficiente pueden completar sus requerimientos de ventilación con un filtro HEPA. Si la habitación tiene 3 r/h por ventilación natural, se puede introducir un equipo HEPA y regular su capacidad manualmente para completar los 6 r/h recomendados.

6.4 Mejor en alto que en el suelo

No está mal colocar un purificador de aire en el suelo, pero tiene algunos inconvenientes funcionales: **ocupará espacio** (importante si tu casa es pequeña) y aumenta el **riesgo de tropezar** con él (importante si en casa hay niños, mascotas o personas mayores). De igual manera su eficiencia se ve reducida como se indica en la sección 4.2.2.

Se recomienda colocar el purificador elevado, pero a 1,5 metros del suelo como máximo. De esta manera el aparato tomará el aire contaminado de forma más repartida respecto a la altura hasta el techo, pero también será positivo eliminar el riesgo de tropiezo y se aprovechará mejor el espacio.

Una buena opción puede ser colocar el filtrador de aire sobre una mesita de noche o un mueble no muy alto (una cómoda, por ejemplo).

6.5 Mejor si el purificador es portátil

Independientemente de los consejos anteriores hay que tener en cuenta que es mejor que el aparato sea portátil, ya sea porque es pequeño y manejable o porque tiene asas o ruedas que faciliten su movimiento entre estancias de la casa.

Esto es importante también para que el purificador sea versátil. Se puede comprar sólo un aparato y usarlo durante el día en el salón, mientras se lee, come, ver la televisión, etc., y luego pasarlo a la habitación durante la noche, para dormir con aire limpio y puro.

6.6 Mejor evitar lugares húmedos

Un uso habitual de los purificadores de aire es para eliminar olores fuertes o desagradables en cocinas o baños, pero son estancias de una vivienda donde se pueden generar vapores y, por tanto, humedades elevadas (sobre todo en baños).

La humedad ambiental elevada puede afectar las propiedades y funcionamiento de los filtros HEPA y de carbono activo de los purificadores de aire, además de reducir su vida útil.

Por lo tanto, es recomendable no colocar un purificador en cocinas y baños, al menos mientras se cocina o mientras te estás duchando con agua caliente (mejor esperar unos minutos a que desaparezca el vapor).

6.7 Colocar lejos de obstáculos

Un purificador de aire dispone de unas entradas de aire (contaminado) y unas salidas de aire (purificado) que pueden verse afectadas si lo colocas demasiado cerca de un mueble, sofá, etc. y lo mismo ocurre si lo colocas debajo de una estantería, lámpara, etc.

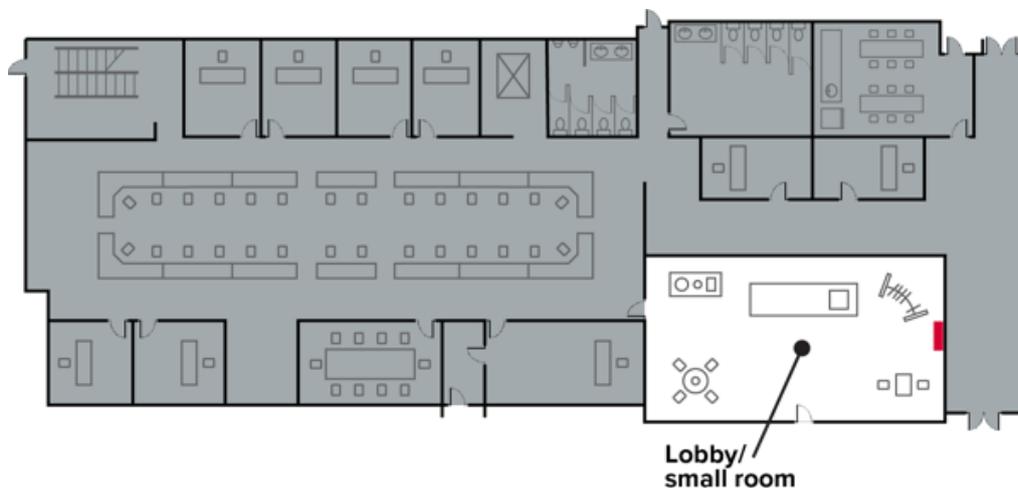
	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 26 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Para que el dispositivo pueda tomar y liberar el aire correctamente debería haber un margen amplio a cualquier obstáculo. De lo contrario el aire de tu habitación no será tratado ni purificado correctamente.

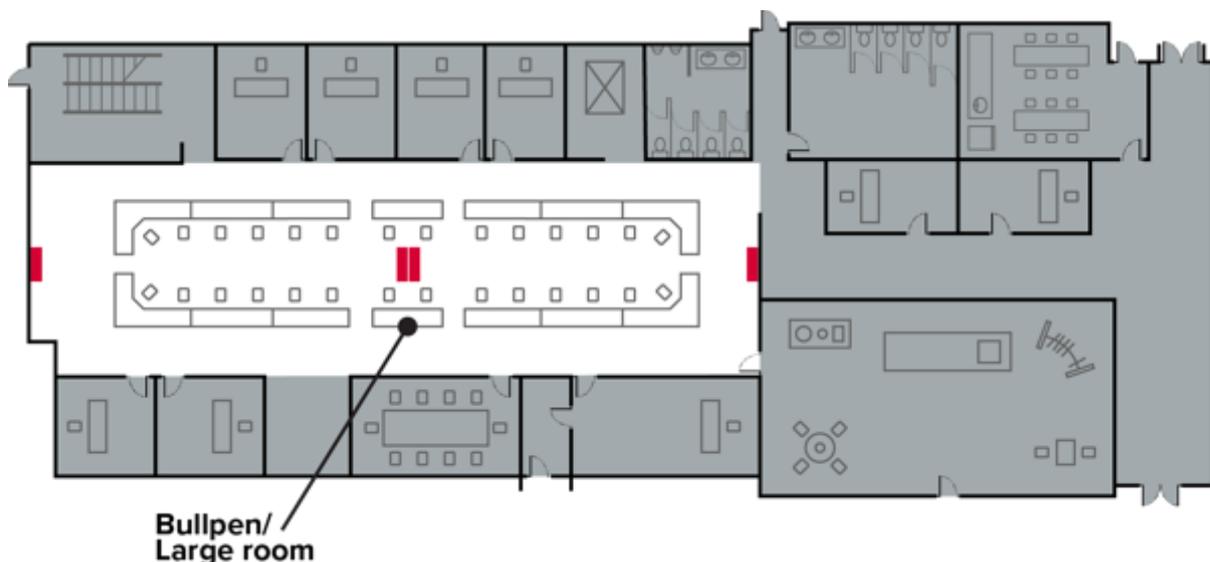
6.8 Analizar la configuración adecuada

Basado en el área requerida y el producto a utilizar es necesario definir la configuración adecuada.

En un espacio pequeño puede funcionar adecuadamente un equipo instalado en el centro de una pared:



En un espacio amplio se puede llegar a necesitar múltiples elementos. En el ejemplo indicado a continuación, la configuración requiere de cuatro equipos: dos equipos pueden ser colocados en las paredes opuestas y otros dos en el centro.



Esta configuración asegura que la habitación entera queda cubierta.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 27 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

7 Caso práctico-aplicación a escuelas públicas

Consideremos el caso de una escuela primaria con 500 alumnos y 60 profesores. Con las siguientes condiciones:

Número de aulas grandes:18

Área de cada aula grande: 50 m²

Número de aulas de desdoble:8

Área de cada aula pequeña: 25 m²

Esto implica un área total de 1 100 m² y, asumiendo una altura estándar de 2,5 m en cada habitación, tendríamos un volumen de tratamiento de 2,750 m³.

En base a esto, podríamos considerar el equipo Phillips S800 AC0820/10 con capacidad 190 m³/h.

Si establecemos la base de renovar 6 r/h, el resultado implica la necesidad de 88 equipos.

Por cada aula de 50 m² se necesitaría 4 equipos HEPA
 $125 \text{ m}^3/190*6 \cong 4 \text{ equipos}$

Y por cada aula de 25m² se necesitarían 2 equipos HEPA

$62,5 \text{ m}^3/190* 6 \cong 2 \text{ equipos}$

Los purificadores, de manera general, están diseñados para trabajar al nivel de suelo. Sin embargo, al ser de nuestro interés el tratar los aerosoles o partículas en suspensión es necesario considerar pies de soporte para optimizar la absorción de aerosoles. De esta manera el aire será tratado al nivel de la emisión y no hay que esperar que llegue al suelo.

El modelo S800AC0820/10 absorbe el aire en 360° por lo que es interesante al instalarlo en una sala separada de la pared ya que cubre una gran área a su alrededor. La altura de este soporte debiera estar a la misma de la cabeza del usuario:

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 28 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	



En todo caso es recomendable que no supere los 1,5 m y no colocarlo al nivel del suelo para su mejor uso.

Para este ejemplo consideraremos el modelo Millenium BS-500de soportes cuyo precio es 48 euros el par.



	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 29 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

El modelo Phillips S800AC0820/10 se ha escogido adicionalmente por su poco peso (es al menos 50% inferior que sus competidores ver sección 5.0). Esto da una ventaja para relocalizarlo en diferentes aéreas. Un ejemplo sería el caso de los comedores de los colegios: en la hora de la comida estos equipos pueden ser llevados desde un aula hasta el comedor y proveer así una medida de protección adicional al comer, disminuyendo así la inversión. El bajo peso sería una ventaja en su manejo. Es de hacer notar que al comer es donde hay mayor riesgo de contagio por el hecho de quitarse la mascarilla.

En caso, de ser transportado la superficie externa del filtro debe considerarse potencialmente contaminada y desinfectarse (por ejemplo hidrogel en spray) antes de su transporte.

Se podría considerar que un solo equipo de mayor capacidad podría ser ventajoso, ya que el autor cree que el hecho de usar múltiples equipos es beneficioso porque el transporte de aerosoles o partículas hacia el purificador tendrá menor recorrido:

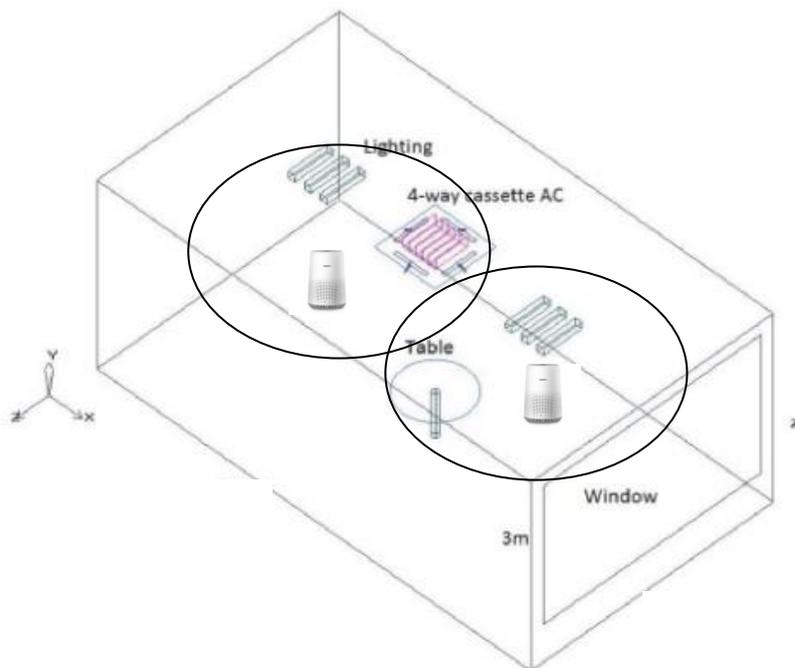


Ilustración en habitación de 25 m² con dos purificadores

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 30 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

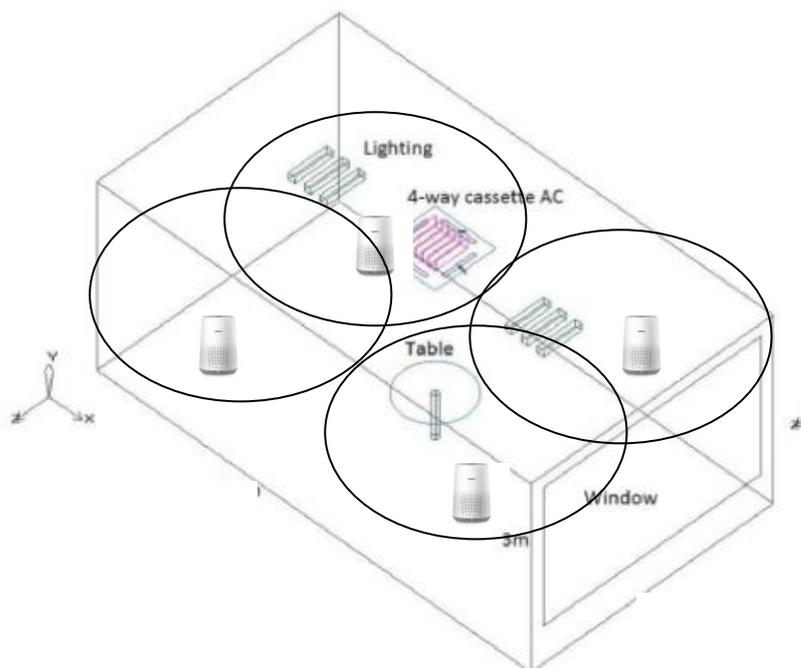


Ilustración en habitación de 50 m2

El modelo estudiado al descargar el aire purificado hacia arriba desplaza el aerosol generado fuera de la cabeza del usuario. El coste por equipo es de 144 euros, el de renovación del filtro es 18 euros/equipo y también hay que considerar que el coste de consumo de electricidad durante 16 horas de operación. Este equipo en particular tiene una potencia de 18W.

El consumo de potencia se calcula considerando un precio pico de la energía 0,18 euros/Kwh:

$88 \text{ equipos} \times 18\text{W} \times 16 \text{ horas} / 1000 \times 0,18 \text{ euros/Kwh} = 4,56 \text{ euros/día.}$

Durante la pandemia es recomendable tratar el recambio del filtro como deshecho médico sanitario o desinfectarlo, para evitar contaminación cruzada[16]. Con esta información se obtienen los resultados de la siguiente tabla:

Inversión equipos	12 672
Soportería	2 112
Inversión+10% por contingencias	16 262
Recambios	Cada año
Número de equipos	88
Coste de mantenimiento cada 3 años	3 168 euros
Energía eléctrica al año	1 642
Coste total 3 años	24 357 euros ¹
Coste/alumno	48,71 euros/alumno
Coste/alumno/día (en los primeros 3 años)	0,044 euros/alumno día
Amortización días- enfermos COVID ²	32,47

1 Como el equipo viene con filtro limpio solo se consideran dos recambios (3 168 euros).

2 Este ratio considera que el coste de un enfermo COVID-19 es 750 euros. Si se previenen 32,47 días de enfermos en UCI, el equipo se amortiza inmediatamente por el coste ahorrado en el hospital.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 31 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

Hay que hacer notar que, con una coordinación adecuada, este equipo puede ser reutilizado para purificar diferentes zonas. Supongamos que un aula no está siendo utilizada, estos equipos pueden ser transportados por ejemplo a un gimnasio y utilizarlos para limpiar el aire en dicha habitación.

De igual manera si dicha habitación está desocupada y se cree potencialmente contaminada, se puede dejar uno de estos equipos por un tiempo razonable para la purificación del aire. El modelo S800AC0820/10 establece que es capaz de purificar una habitación de 25 m² en 16 min y una de 49 m² en 38 min con test de humos y según norma NRCC-54013.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 32 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

8 Variables financieras e inversión

Para más detalles del análisis de inversión es importante referirse al capítulo 7 de este documento. Para estudios en otras superficies, como residencias de ancianos, se podría considerar un coste promedio de 22,14 euros/m² basados en el caso escuela primaria de la sección 7.

Para evaluarla viabilidad de este propuesta se consideran dos posibilidades:

- Financiación propia.
- Financiación obras sociales-estatales.

Financiación propia

Única inversión

Considerando el interés social de esta inversión, se puede hacer la financiación con un desembolso inicial como el indicado en la siguiente tabla:

Espacio público	Inversión	Coste/usuario	Coste/usuario-día
Colegio (1 100 m ²)	24 357 euros	48,71 euros	0,044 euros

Es interesante observar que a medida que el espacio público es de mayor uso el coste por usuario será inferior. El coste por usuario de desinfectar un aula será inferior que el de una habitación de uso personal.

Amortización por plazos

En ciertas situaciones económicas puede ser inaccesible al núcleo familiar el poder desembolsar el capital por situaciones personales limitantes o por el simple hecho de tener más de un hijo donde el coste en total puede ser significativo. En este sentido el autor, analizando la situación del mercado financiero, observa que los intereses bancarios andan en 3-5%. Por lo que al generar un préstamo por 3 años al 5% se esperaría una cuota mensual de:

Espacio Público	Inversión	Cuota mensual al 5%	Cuota mensual/usuario
Colegio (1 100 m ²)	24 357 euros	730 euros	1,46 euros

El coste en financiación se ve asequible en esta situación por diferentes clases sociales. Como contingencia se observa la solidez de la sociedad o persona que se haga cargo de este préstamo. Esta credibilidad debe ser la adecuada para generar confianza en la entidad bancaria correspondiente.

Financiación obras sociales-estatales

Los bancos más importantes, y en esto destaca la Caixabank, tienen obras sociales en las cuales se puede obtener financiamiento presentando propuestas de valor como es el objetivo de este estudio.

Con respecto al impacto social y económico, la inversión en salud siempre es lo más económico. El contacto con entidades estatales es interesante, ya que desde el punto de vista utilitarista, y

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 33 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

teniendo en cuenta que el coste de un enfermo COVID-19 en UCI al día es de 750 euros y en hospital normal 250 euros, la inversión se amortiza evitando días de enfermos en sala UCI.

Teniendo en cuenta que los periodos de tratamiento en UCI de un paciente COVID-19 están entre los 13 y 16 días [4], el evitar el uso de estas salas compensa la inversión según la siguiente tabla:

Espacio público	Inversión	Enfermos UCI equivalentes-13 días
Colegio-(1 100 m ²)	24 357 euros	3

Lo que resulta interesante sin tener en cuenta gastos adicionales como transporte en ambulancia, costes sociales y funerarios como consecuencia de la enfermedad.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 34 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

9 Sectores propuestos de aplicación

Este estudio se hace durante un confinamiento de 00:00 a 06:00 en la Comunidad de Madrid con el objeto de evitar las reuniones familiares/amigos, el cual según la "Actualización nº 235. Enfermedad por el coronavirus (COVID-19). 23.10.2020" es la fuente del 21% de los casos.

Esta acción es loable, pero depende de la buena voluntad de los ciudadanos por lo que la capacidad de control de este sector no está en la Comunidad de Madrid. [19]En este mismo documento se encuentran dos sectores en los cuales se puede tomar acción para disminuir la contaminación por aerosoles:

- Centros educativos
- Residencia de mayores

De acuerdo a este documento se ve un vector creciente en los centros educativos en las actualizaciones 230 y 235 [19,20] del documento mencionado, el % de casos asociados a escuelas está en aumento:

Ámbito	Informe 230 Casos acumulados	Informe 230 Nuevos casos	Informe 235 Casos acumulados	Informe 235 Nuevos casos
Centro educativo	3,60%	10,00%	4,62%	12,93%
Residencia de mayores	10,60%	10,40%	11,20%	12,87%

El porcentaje de nuevos casos en centros educativos con respecto al acumulado es 3 veces superior. En un periodo de 7 días el % de casos ha aumentado en un 20%, por lo que se intuye un vector de infección.

Tal como se indica en la sección 4.3 el 90% de centros docentes no se han construido con las normas de ventilación actuales. Por lo que en estos edificios, a falta de una buena ventilación, sería apropiado instalar un filtro HEPA y disminuir la contaminación por aerosoles.

Esta inversión no tiene que ser al azar, sino que requiere valoración de alternativas de ventilación natural (en el Anexo I se incluyen las guías recomendadas por el CSIC). Aquellos edificios que no puedan cumplir con la ventilación natural serían candidatos a esta inversión.

Por otro lado, las residencias de mayores presentan una variación pequeña. Sin embargo, teniendo en cuenta que este sector es el más vulnerable, es de interés social darles un nivel de protección. De acuerdo a la Consejería de Sanidad del total de fallecidos el 94% son mayores de 60 años [21]. Hay que tener en cuenta que los filtros HEPA también retienen otros virus y bacterias por lo que este sector se beneficiaría de liberarse de otras enfermedades.

Con acción en estos dos sectores se podría actuar sobre el 25,8% de los casos generados por los diferentes ámbitos. Esto en conjunto al confinamiento, implica una acción en 46,8% de los casos generados.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 35 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

10 Conclusiones

En base al coste de los equipos y el impacto que pueden tener en la prevención de la pandemia, el uso de filtros HEPA se muestra como opción de mitigación de propagación de enfermedades. Adicionalmente, se conoce la capacidad de absorción que tienen los equipos HEPA sobre este tipo de virus. La tecnología de filtración de los purificadores modernos es capaz de filtrar 0,003 μm , tamaño muy inferior a los coronavirus entre 0,06 a 0,2 μm .

La efectividad de reducir el contacto con partículas/aerosoles puede ser mayor del 97% al tener una configuración adecuada.

En el caso de inversión en un plazo de 3 años, el coste mensual es tan bajo 1,46 euros/usuario-mes.

Aunque la efectividad de estos equipos fuese pequeña con el solo el hecho de evitar 3 enfermos en sala UCI la inversión se ve amortizada inmediatamente.

Una protección adicional a considerar, es que este equipo trabaja en operación continua por lo que esto es una ventaja contra limpiezas que se hacen de manera discontinua ya que el aire se purifica constantemente.

Teniendo en cuenta que estudios indican que los aerosoles pueden estar en suspensión por horas y que estos equipos limpian el aire de una sala muy contaminada en minutos, el riesgo de infección se ve disminuido.

Lugares como centros educativos (cuyo % de casos va en aumento), residencias de mayores (con alta mortandad) se verían beneficiados lo cual complementaria a las medidas de uso de mascarillas, distancias social y disminución de reuniones familiares en aquellos edificios que no cumplan con la norma Documento Básico DB-HE2 (edificios anteriores al 2006).

Los centros educativos representan el 25,8% de los lugares sujetos a generar casos de covid, por lo que proteger este sector es de interés.

Finalmente, existe un beneficio secundario ya que al liberar camas hospitalarias se liberan camas para pacientes (por ejemplo de cáncer) que no pueden ser tratados sea porque no hay espacio o por temor a la infección por COVID-19. Esto redundo en un coste sanitario más eficiente, no solo por el tratamiento de enfermedades sino por la capacidad de prevención de otras que actualmente no son críticas para el paciente pero que pueden evolucionar de una manera preocupante sin tratamiento, dado que los enfermos no van a la asistencia sanitaria por temor.

	HIGIENIZACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS		
	MEDIANTE FILTRO HEPA	Pág. 36 de 36	
	EDICIÓN PARA APROBACIÓN	REV.: C	

11 Anexo I-Guía para ventilación en aulas