

Eficacia de una placa fotocatalítica en la exposición al humo del tabaco en ambientes cerrados

M. García Rueda¹, C. Rábade Castedo², C.A. Jiménez-Ruiz³

¹Unidad de Tabaquismo. Servicio de Neumología. Hospital Regional Universitario de Málaga. ²Unidad de Tabaquismo. Servicio de Neumología. Hospital Clínico Universitario Santiago de Compostela. ³Unidad Especializada en Tabaquismo. Hospital Clínico San Carlos. Madrid.

RESUMEN

Objetivo. Se ha postulado que se podría reducir la concentración de algunas sustancias tóxicas de los ambientes contaminados por humo de tabaco mediante la utilización de la placa de espuma porosa que se basa en el fenómeno de la fotocatalisis. Hemos realizado un estudio con el objetivo de evaluar la eficacia de la placa porosa fotocatalítica tipo ACEAIR (PPFCA), en relación con la disminución/eliminación de algunos de los componentes de humo del tabaco en un entorno cerrado y controlado.

Material y métodos. Se han realizado dos experimentos. En el primero se encendió un cigarrillo en una habitación cerrada en ausencia de ventilación y posteriormente se activó la placa. Se calculó la concentración de partículas (PM_{2,5}, PM₁ y PM₁₀), compuestos orgánicos volátiles (COV) y formaldehídos antes y a los 15 minutos de la colocación de la PPFCA y a las 24 horas. En un día posterior, se realizaron las mismas determinaciones en condiciones similares, pero

en ausencia de la PPFCA. En el segundo experimento se encendió un primer cigarrillo y se continuó encendiendo un nuevo cigarrillo cada hora durante 8 horas con el objeto de simular una situación más habitual en la vida diaria. Se midieron los mismos contaminantes con y sin placa.

Resultados. Se produjeron reducciones moderadas de cada uno de los componentes tóxicos analizados con la utilización de la PPFCA que oscilaron entre un 20 a un 50 %.

Conclusiones. La utilización de la PPFCA sirvió para reducir ligeramente la concentración de algunas sustancias tóxicas, pero no fue capaz de provocar su completa eliminación.

Palabras clave: Humo de tabaco; Placa fotocatalítica; Exposición pasiva.

ABSTRACT

Objective. It has been postulated that it would be possible to reduce the concentration of some toxic substances of the environments contaminated by tobacco smoke by using porous foam plates based on the phenomenon of the photocatalysis. We have performed a study with the objective of evaluating the effectiveness of the ACEAIR (PPFCA) type photocatalytic plate in relationship with the decrease/elimination of

Correspondencia:

Dr. Marcos García Rueda. Servicio de Neumología.
Hospital Regional Universitario. Málaga.
E-mail: magarue@gmail.com

Recibido: 21 de diciembre de 2021. Aceptado: 27 de diciembre de 2021.
Prev Tab. 2022; 24(1): 11-21

some of the components of tobacco smoke in a closed and controlled setting.

Material and methods. Two experiments have been conducted. In the first one, a cigarette was lighted up in a closed room in the absence of ventilation and then the plate was activated. The concentration of particles (PM 2.5 PM 1 and PM 10), volatile organic compounds (VOC) and formaldehydes were calculated before and at 15 minutes of placing the PPFCA and at 24 hours. In a later date, the same measurements were made under similar conditions, but in the absence of the PPFCA. In the second experiment, a first cigarette was lit up and a new cigarette was lit up every hour during 8 hours in order to simulate a more common situation in the daily life. The same contaminants with and without the plate were measured.

Results. Moderate reductions that ranged from 20 to 50 % of each one of the toxic components analyzed occurred with the use of the PPFCA.

Conclusions. The use of the PPFCA served to slightly reduce the concentration of some toxic substances, but it was not capable of provoking their complete elimination.

Key words: Tobacco smoke; Photocatalytic plate; Passive exposure.

INTRODUCCIÓN

La exposición involuntaria al aire contaminado por humo de tabaco, aunque con lagunas en su caracterización⁽¹⁾ y dificultades en su abordaje, constituye un reto importante para la salud a nivel mundial. Así, el también llamado “tabaquismo pasivo” se considera la tercera causa de muerte evitable en España, produciendo más de 1.000 fallecimientos al año en nuestro país, eso teniendo en cuenta solo las estimaciones más conservadoras y sin valorar la morbilidad y discapacidad que genera⁽²⁻⁴⁾. La exposición involuntaria al aire contaminado por humo de tabaco se asocia a muerte prematura y enfermedad, tanto en niños como en adultos. Dicho humo libera al ambiente alrededor de 7.000 componentes, muchos de ellos tóxicos, como carcinógenos (hidrocarburos aromáticos policíclicos, aminas aromáticas) o irritantes (monóxido de carbono, benceno, formaldehído, amonio, nicotina, acroleína y partículas respirables con PM <2,5)⁽⁵⁻¹¹⁾. Además, se conoce que muchos componentes pueden permanecer en los hogares al

menos cuatro semanas después de haberse fumado el cigarrillo⁽¹²⁾.

Existe una enorme y consolidada evidencia científica sobre la relación existente entre estos componentes tóxicos y el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón, accidentes cerebrovasculares, infecciones del tracto respiratorio inferior, exacerbaciones de asma o peor control de dicha enfermedad. Pese a que dichos efectos sobre la salud pueden depender de la magnitud de la exposición, actualmente la evidencia disponible señala que no existe un nivel seguro de exposición frente al humo del tabaco^(9,13). También sabemos que las medidas restrictivas basadas en la prohibición del consumo del tabaco en el trabajo, transportes y espacios públicos cerrados han demostrado ser eficaces^(14,15). Sin embargo, en entornos familiares continúa existiendo una población vulnerable al tabaquismo pasivo, especialmente niños, ancianos y embarazadas⁽¹⁴⁻²⁰⁾. Frente a este problema de exposición a tóxicos ambientales, se han propuesto y ensayado diversas medidas. Así, por ejemplo, existen determinados dispositivos para purificar el aire contaminado de las viviendas que han demostrado beneficio para eliminar alérgenos ambientales en niños con asma^(5,21). Sin embargo, no está claro su impacto en la eliminación de los distintos componentes del humo de tabaco y, por tanto, en las posibles repercusiones que esto pudiera tener sobre la salud de las personas. Estudios recientes demuestran que estos dispositivos reducen las partículas respirables (PM 2,5) y los niveles de cotinina en saliva de adultos no fumadores, pero, aun así, no consiguen una eliminación completa de los mismos^(20,22-24).

Uno de esos dispositivos que podría reducir la concentración de algunas sustancias tóxicas de los ambientes contaminados por humo de tabaco es la placa de espuma porosa que se basa en el fenómeno de la fotocatalisis. Dicho fenómeno comprende un amplio espectro de reacciones químicas relacionadas con catalizadores y transiciones de cargas e iones. La reacción básica suele ser la oxidación. Un catalizador es a menudo un semiconductor de óxido (TiO₂) que tiene la posibilidad de una transición de electrones de la valencia a la banda de conducción por medio de la activación de fotones ultravioleta (UVA) y la creación de un par de electrones-hueco. En consecuencia, aparecen radicales hidróxido y peróxido (OH y O₂-) que provocan reacciones de oxidación y descomposición. En el caso de TiO₂, hay un inicio apropiado de UVA de una reacción con la longitud de onda de 365 nm. Los radicales oxidantes descom-

ponen los compuestos orgánicos volátiles en el aire, posiblemente en el agua.

En conclusión, su funcionamiento básico puede explicarse resumidamente así: las superficies tratadas con agentes fotocatalíticos, gracias a la luz (solar o artificial) descomponen y mineralizan numerosos compuestos contaminantes presentes en el aire. La reacción química que se produce cuando se dan cita los tres elementos básicos (luz, oxígeno y fotocatalizador) contribuye a eliminar del aire sustancias nocivas para el ser humano, tales como el óxido de nitrógeno (Nox), óxido de azufre o compuestos orgánicos volátiles (COV)⁽²⁵⁾.

Por todo ello, la placa de espuma cerámica porosa fotocatalítica se postula como una posible herramienta con capacidad de degradación de peligrosos contaminantes químicos y biológicos (formaldehído, acetaldehído, benceno, hexano, NOx, virus, bacterias, microorganismos, etc.) y olores desagradables en interiores y exteriores, al exponerla a la luz UVA (artificial en interiores y luz solar en exteriores). Algunos componentes tóxicos del tabaco podrían ser eliminados o reducidos a través de estos dispositivos, contribuyendo así a la mejora del aire contaminado por el humo de tabaco. De esta manera, podría degradar partículas combinadas con compuestos volátiles o semivolátiles que representan el 80 % del humo total del tabaco, así como reducir el valor medio de partículas respirables (PM 2,5) en más del 40 %.

OBJETIVO

Evaluar la eficacia de la placa porosa fotocatalítica tipo ACEAIR (PPFCA), en relación con la disminución/eliminación de algunos de los componentes del humo de tabaco en un entorno cerrado y controlado.

MATERIAL Y MÉTODOS

En aras a la consecución del objetivo descrito se seleccionó un entorno cerrado vinculado al equipo investigador dentro del área de Santiago de Compostela que consistió en una habitación de dimensiones conocidas (4,40 m × 2,45 m × 2,8 m). Para un mejor abordaje del objetivo se consideró la realización de dos experimentos distintos.

En el primero se encendió un cigarrillo en una habitación cerrada en ausencia de ventilación y posteriormente se activó la placa fotocatalítica. Se calculó la

TABLA 1. Variables contempladas en el estudio.

1. Variables relacionadas con las características de la habitación:	
- Tipo de habitación (interior/exterior)	
- Grado de ventilación (vivienda ventilada/no ventilada)	
- Presencia de luz solar/luz artificial	
- Temperatura en la vivienda por habitaciones*	
- Porcentaje de humedad en la vivienda**	
- Habitaciones donde se fuma	
- Días en los que se fuma en la vivienda	
2. Partículas respirables (PM _{2,5} -PM ₁ -PM ₁₀)***	
3. Compuestos orgánicos volátiles y formaldehídos	
<i>*Expresado en grados centígrados. **Expresado en humedad relativa (HR): cantidad de vapor expresada en 1 m³ de aire en una temperatura dada y medido con higrómetro. ***Las partículas respirables (PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀) se determinan en µg/m³.</i>	

concentración de partículas (PM 2,5, PM 1 y PM 10), COV y formaldehídos antes y a los 15 minutos de la colocación de la PPFCA y a las 24 horas. En un día posterior, se realizaron las mismas determinaciones en condiciones similares, pero en ausencia de dicha placa.

En el segundo experimento se activó la placa fotocatalítica simultáneamente tras encender un primer cigarrillo y se continuó encendiendo un nuevo cigarrillo cada hora durante ocho horas con el objeto de simular una situación más habitual en la vida diaria. Se determinó cada 30 minutos durante 24 horas la concentración de partículas (PM 2,5, PM 1 y PM 10), COV y formaldehídos). De nuevo se realizaron las mismas determinaciones en la misma habitación en día posterior, pero en ausencia de la PPFCA.

La PPFCA fue cedida por el promotor del estudio, la Asociación Ibérica de la Fotocatálisis, sin restricciones de ningún tipo al equipo investigador.

Para determinar las distintas concentraciones de los componentes del humo del tabaco estudiados, se emplearon el monitor DC 1100 PRO Dylos Air Quality (Dylos Corporation, Riverside, CA) y el 6930 Air Quality Monitor IGERESS (Vson Technology Co., Bao'an), cedidos ambos por el promotor del proyecto de investigación.

Como variables de estudio se seleccionaron las relacionadas con las características de la habitación y la medición de las partículas respirables, COV y formaldehídos (Tabla 1).

La distribución de los datos fue inicialmente valorada mediante el test de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y así, consecuentemente, para la comparación de

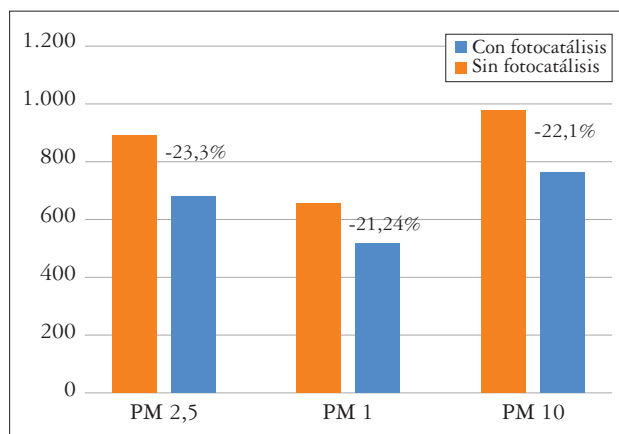


Figura 1. Reducción a los 30 minutos de partículas del humo de tabaco con una placa fotocatalítica con luz artificial.

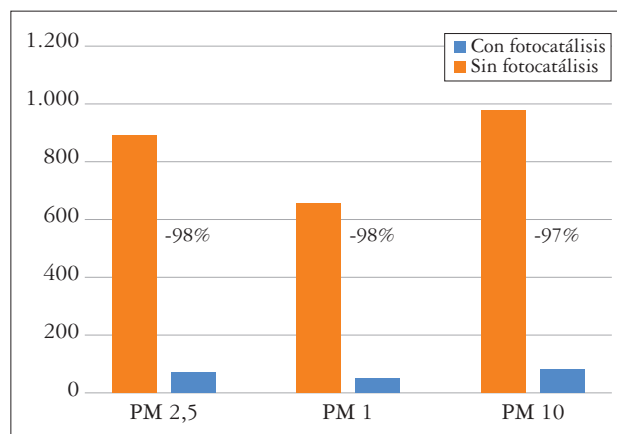


Figura 2. Reducción a las 24 horas de las partículas del humo de tabaco con una placa fotocatalítica con luz artificial.

valores medios de las distintas determinaciones se han utilizado las pruebas t de *Student* o U de *Mann-Whitney* para la comparación de medias. El criterio de significación se estableció en $p < 0,05$. Todos los datos fueron analizados usando el programa informático *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versión 23.0 para Windows.

RESULTADOS

PRIMER EXPERIMENTO

Respecto a las variables relacionadas con las características de la habitación entre los días en que se utilizó la placa fotocatalítica y los que no, hay que señalar que se encontraron diferencias respecto a la humedad (valor medio 53,13 % sin placa *vs.* 54,40 % con placa, $p = 0,07$), no así respecto a la temperatura (18,95 *vs.* 18,90 °C, $p = 0,43$).

Al poner en marcha la PPFCA tras encenderse un cigarrillo se observó a los 30 minutos (Fig. 1) una reducción de la concentración de partículas PM 2,5 un 23,3 %, PM 1 un 21,4 % y PM 10 un 22 %. A las 24 horas de encender el cigarrillo (Fig. 2), la PPFCA redujo la concentración de partículas PM 1: 98,6 %, PM 2,5: 98,6 % y PM 10: 97 %. Aunque la concentración de este tipo de partículas también se redujo después de 24 horas sin la placa, dicha reducción fue de magnitud significativamente menor y tardó más tiempo en alcanzarse.

1. PM 2,5

Tras comparar las concentraciones de partículas con y en ausencia de la PPFCA, se observó que en ambas

situaciones se apreciaba una disminución de la concentración de partículas con el transcurso del tiempo. No obstante, la reducción fue mayor tras el empleo de la placa fotocatalítica. Se observó una reducción del 16 % de PM 2,5 a los 15 minutos con la PPFCA con respecto a un 8 % de reducción en ausencia de dicha placa. A los 30 minutos, la reducción de PM 2,5 fue del 23,3 % con PPFCA frente al 18,7 % en ausencia de esta. A las 24 horas, la reducción de partículas PM 2,5 fue de un 98,6 % con PPFCA y de un 74 % en ausencia de dicha placa. Es decir, la presencia de la PPFCA supuso un 25 % menos de partículas PM 2,5 en la habitación en 24 horas.

2. PM 1

En presencia de la PPFCA la reducción de partículas PM 1 resultó menor a los 15 minutos (13 %) con respecto a la reducción de PM 1 en ausencia de dicha placa (30 %). A los 30 minutos, la reducción de PM 1 fue mayor con la PPFCA frente a su ausencia. Así, la reducción de partículas (PM 1) a las 24 horas con la PPFCA fue del 98,6 % y sin la placa, del 80 %, con una reducción de la concentración de PM 1 a las 24 horas del 20 %.

3. PM 10

Se observó una reducción del 10 % de PM 1 a los 15 minutos de encender la PPFCA no objetivándose diferencias tras 15 minutos en ausencia de dicha placa. A los 30 minutos se produjo una reducción de PM 10 del 22 % con la PPFCA frente a un 6 % en ausencia de esta.

A las 24 horas se observó una reducción del 97 % de PM 10 con la utilización de la PPFCA frente a un 70 % de PM 10 en su ausencia. Existía, por tanto, una reducción de PM 10 de casi un 30 % con la PPFCA frente a la ausencia de esta.

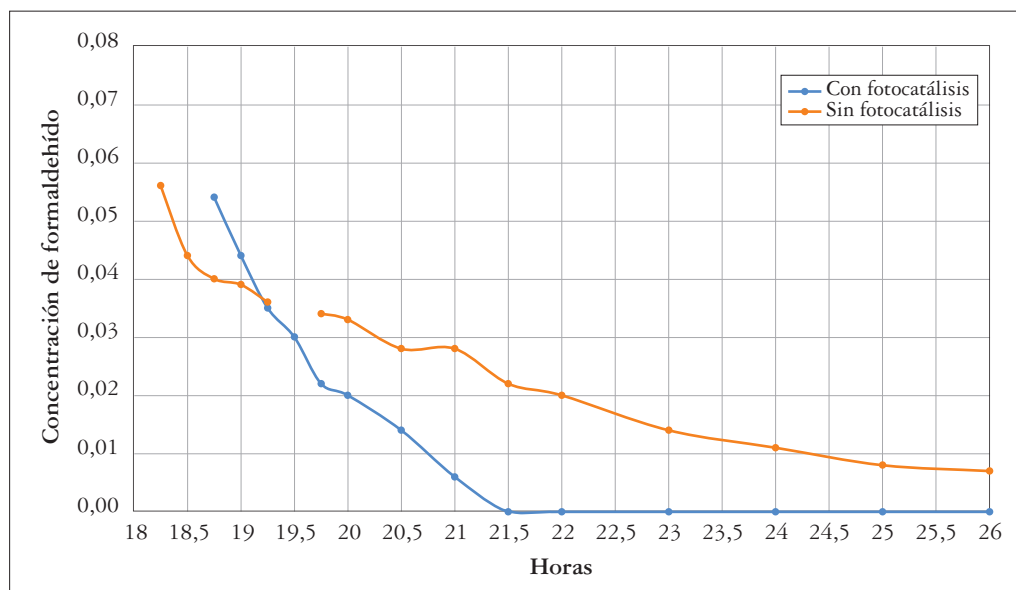


Figura 3. Formaldehído con y sin fotocatalisis. Condiciones: luz artificial. $T^a \in (18-20^\circ\text{C})$ y $W \in (54-57\%)$.

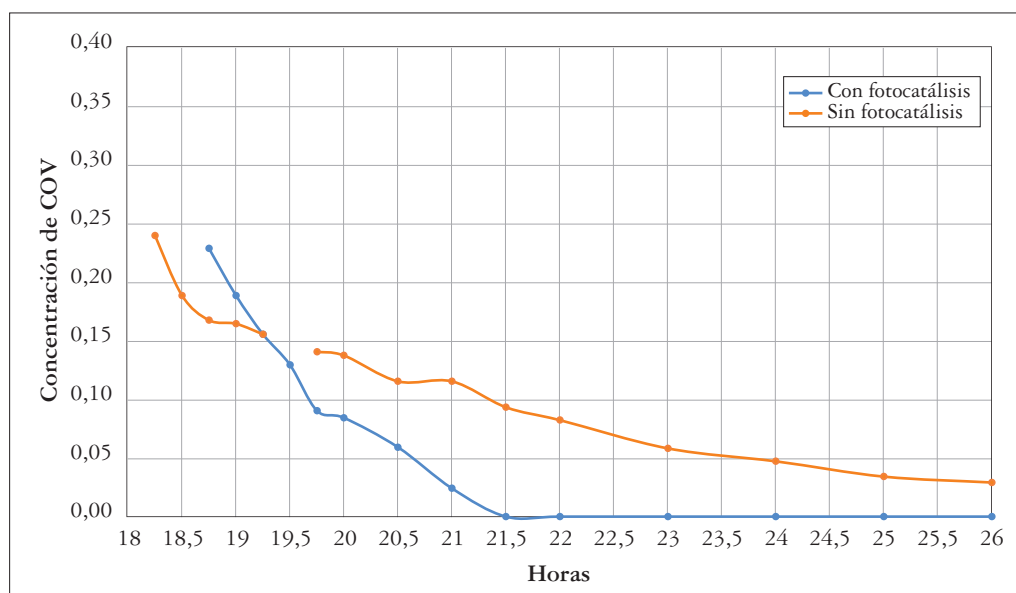


Figura 4. Compuestos orgánicos volátiles con y sin fotocatalisis. Condiciones: luz artificial. $T^a \in (18-20^\circ\text{C})$ y $W \in (54-57\%)$.

4. Formaldehídos

La evolución respecto al formaldehído se presenta en la figura 3. Así, se observó a los 30 minutos del uso de la PPFCA una reducción de las concentraciones de formaldehídos del 40 % frente a un 21,4 % sin su uso. A las 24 horas, la reducción de formaldehídos con la PPFCA resultó en un 15 % mayor que en ausencia de esta. La mejora media de la calidad del aire observada respecto al formaldehído se situó en el 42 %.

5. Compuestos orgánicos volátiles

Se observó una reducción del 39 % en la concentración de COV tras 30 minutos de funcionamiento de la PPFCA frente a una reducción del 21 % en ausencia de dicha placa. A las 24 horas se objetivó

TABLA 2. Mejora media de la concentración de algunas sustancias tóxicas (expresada en %) tras 8 horas de funcionamiento de la placa fotocatalítica ACEAIR.

Componente	Mejora (%)
PM 2,5	61,66
PM 1	62,98
PM 10	59,69
Formaldehído	42,60
COV	41,84

una reducción del 100 % de los COV con la PPFCA frente a un 86 % de reducción sin su uso (Fig. 4).

En la tabla 2 se reflejan las mejoras medias observadas en la concentración de las sustancias tóxicas analizadas.

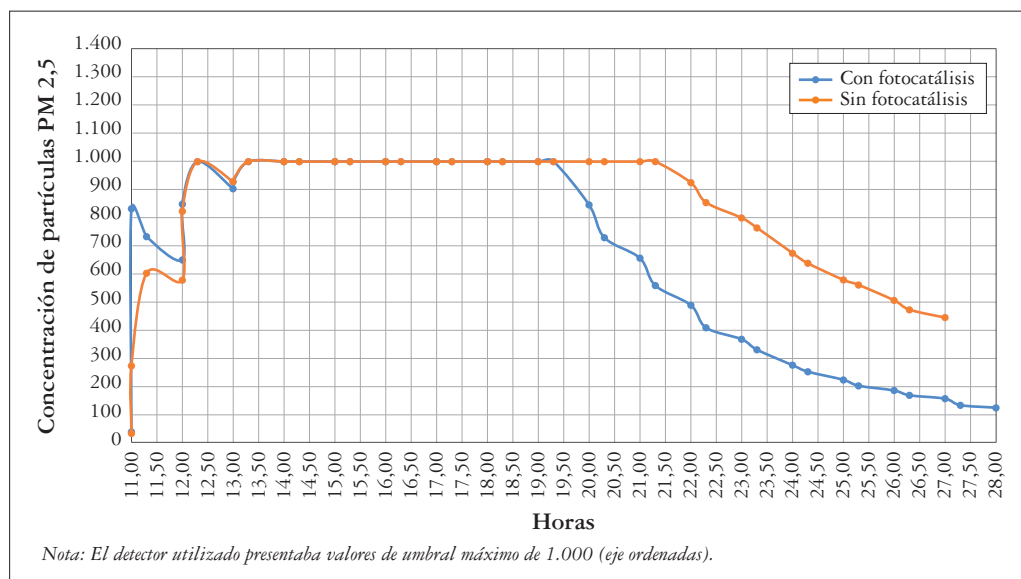


Figura 5. PM 2,5 con y sin fotocatalisis. Condiciones: luz artificial. $T^a \in (17-21^\circ\text{C})$ y $W \in (49-58\%)$.

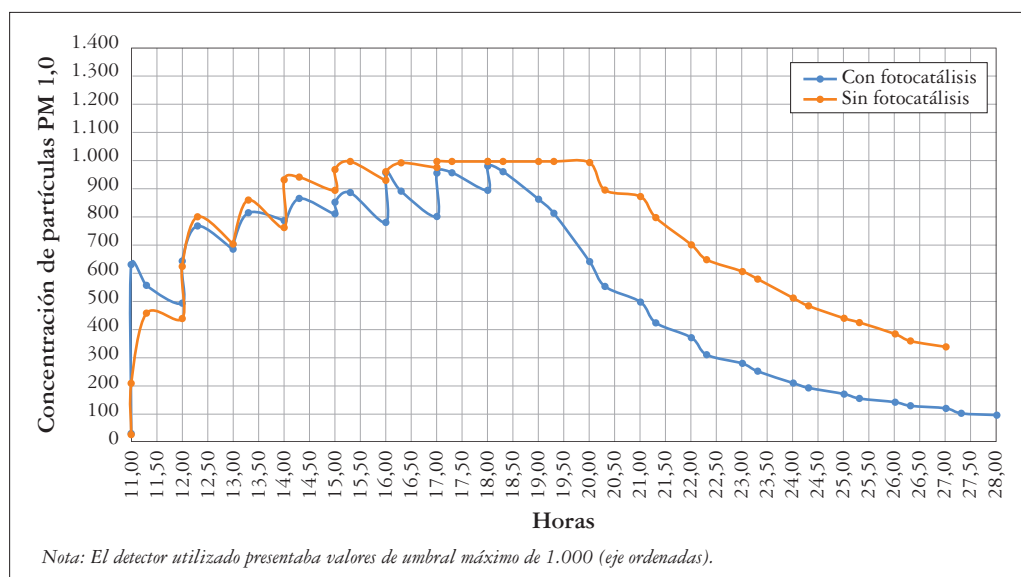


Figura 6. PM 1 con y sin fotocatalisis. Condiciones: Luz artificial. $T^a \in (17-21^\circ\text{C})$ y $W \in (49-58\%)$.

SEGUNDO EXPERIMENTO

En relación con las variables del entorno en donde tuvo lugar el experimento, hay que señalar que se encontraron diferencias significativas respecto a la humedad sin placa y con placa (56,28 vs. 36,87 %, $p < 0,01$). Análogamente, se encontraron diferencias respecto a la temperatura (18,99 vs. 18,81°C, $p = 0,04$).

1. PM 2,5

Tras encenderse cada hora un cigarrillo durante ocho horas la concentración de partículas PM 2,5 a las 24 horas fue de 445 sin PPFCA frente a 157 en el grupo con la PPFCA activada. Se apreció un incremento de partículas (PM 2,5) del 92 % en 24 horas tras realización de este experimento en ausencia de la PFCa

frente a un 75 % de aumento en presencia de esta (Fig. 5). Es decir, la PPFCA redujo la exposición a partículas PM 2,5 un 17 % frente a la no utilización de este dispositivo.

2. PM 1

Con respecto a las partículas PM 1 se observó un incremento en 24 horas de la concentración de partículas del 92 % en ausencia de la PPFCA frente a un 76 % en presencia de dicho dispositivo, disminuyendo la concentración de PM 1 un 18 % con la PPFCA frente a su ausencia (Fig. 6).

3. PM 10

Se observó un incremento de PM 10 en 24 horas de un 75 % en presencia del dispositivo frente a un 92 %

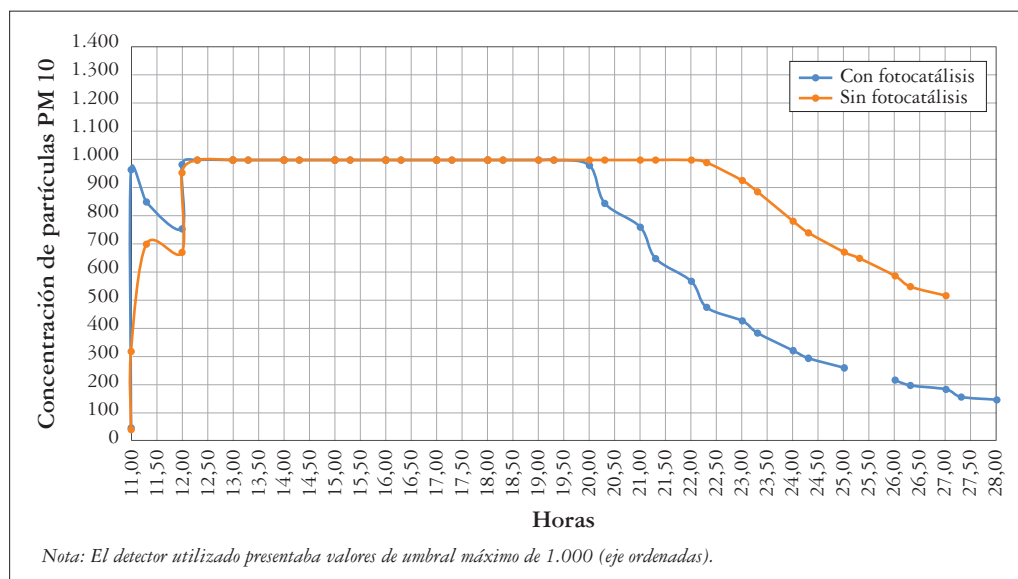


Figura 7. PM 10 con y sin fotocátalisis. Condiciones: luz artificial. $T^a \in (17-21^\circ\text{C})$ y $W \in (49-58\%)$.

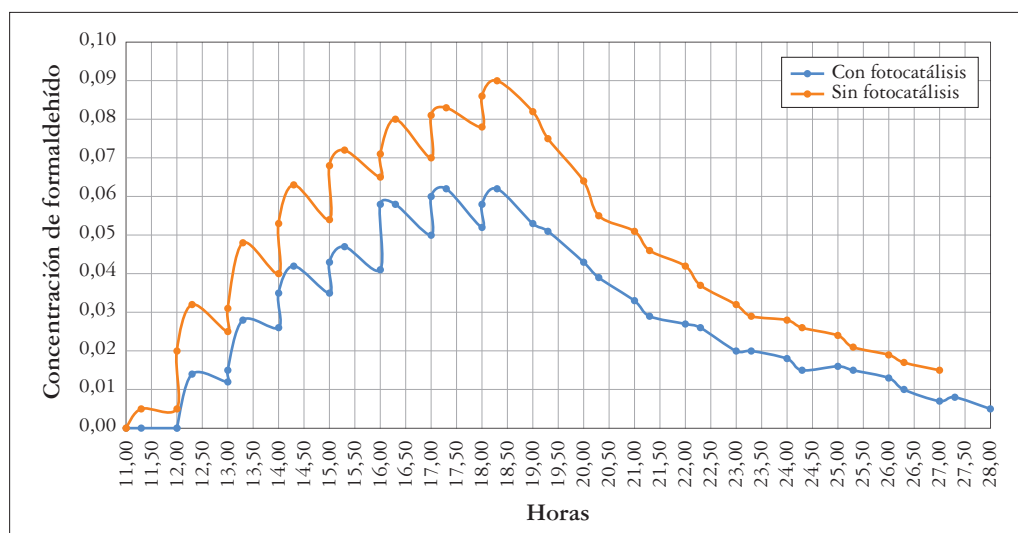


Figura 8. Formaldehído con y sin fotocátalisis. Condiciones: luz artificial. $T^a \in (17-21^\circ\text{C})$ y $W \in (49-58\%)$.

en ausencia de este, evidenciándose así una reducción del 17 % con la PPFCA (Fig. 7).

4. Formaldehídos

Los niveles de formaldehídos detectados resultaron inferiores en aproximadamente un 50 % a las 24 horas del experimento en presencia de la PPFCA frente a su no empleo (Fig. 8).

5. Compuestos orgánicos volátiles

La concentración de COV a las 24 horas mostró una evolución análoga a la de los niveles de formaldehídos (Fig. 9).

6. $PM > 2,5$

Al medir partículas $PM > 2,5$ con el medidor Dylos Air Quality a las 24 horas se observó una reducción

del número de partículas del 36 % en ausencia de placa y del 71 % con la PPFCA, produciéndose así una reducción de un 35 % adicional con placa frente a su ausencia (Fig. 10).

Todo lo anterior se tradujo en una ligera mejora media en la concentración de algunas sustancias tóxicas (Tabla 3) que resultó más evidente si tenemos en cuenta sobre todo la mejora obtenida entre las 8 y 16 horas (Tabla 4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La principal conclusión de nuestro estudio es que la utilización de la PPFCA sirvió para reducir ligeramente la concentración de algunas sustancias

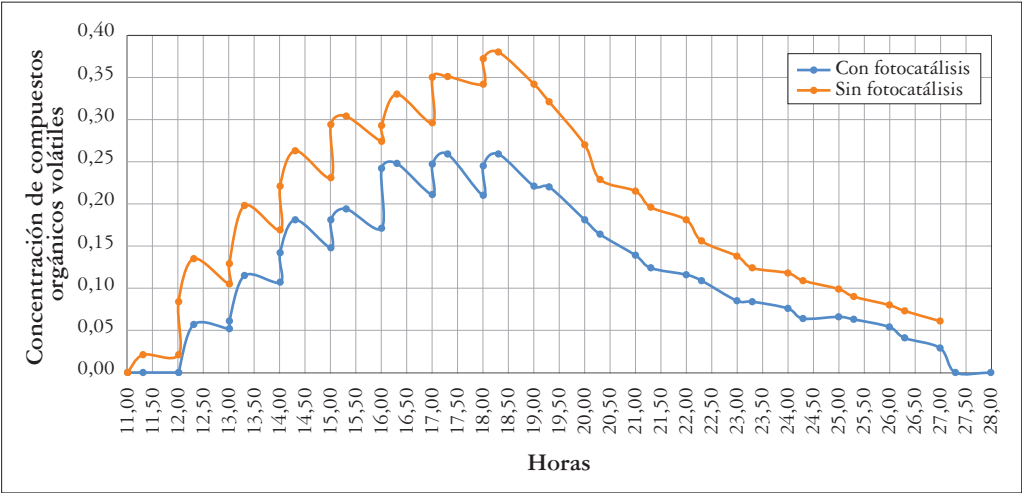


Figura 9. Compuestos orgánicos volátiles con y sin fotocátalisis. Condiciones: luz artificial. Tª ∈ (17-21 °C) y W ∈ (49-58%).

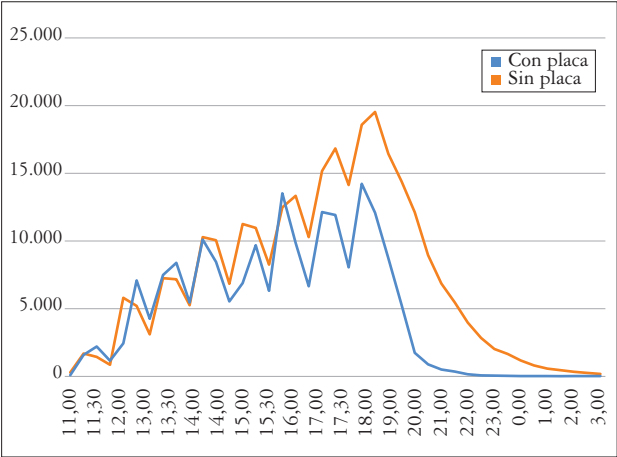


Figura 10. PM > 2,5 con y sin fotocátalisis. Condiciones: luz artificial. Tª ∈ (17-21 °C) y W ∈ (49-58%).

tóxicas, pero no fue capaz de provocar su completa eliminación.

El problema de la exposición involuntaria al humo del tabaco y aerosoles generados por productos relacionados, resulta cada día más evidente y causa una preocupación que precisa de respuestas precisas y adecuadas⁽²⁶⁾.

Actualmente gozan de popularidad entre la población diversos dispositivos, como los purificadores, cuya finalidad es mejorar la calidad del aire en ambientes cerrados, reduciendo las concentraciones de partículas potencialmente tóxicas, en relación con la contaminación ambiental, tabaquismo, ácaros del polvo, etc. Sin embargo, no se ha evaluado suficientemente la eficacia de las placas fotocatalíticas en la mejora de la calidad ambiental. En este trabajo se estudia la eficacia de un dispositivo basado en la fotocátalisis para disminuir

TABLA 3. Valores medios de algunos componentes durante todo el tiempo del experimento sin la utilización de la placa fotocatalítica ACEAIR y con su uso.

Componente	Sin PPFCA*	Con PPFCA*	p
PM 2,5	815 (249)	845 (212)	0,217
PM 1,0	719 (277)	722 (231)	0,477
PM 10	854 (226)	887 (184)	0,171
PM > 2,5	10.294 (10.515)	8.189 (7.177)	0,082
Formaldehído	0,0510 (0,027)	0,0444 (0,0229)	0,059
COV	0,2164 (0,1163)	0,1870 (0,0981)	0,054

*Valores expresados como media (desviación estándar).

TABLA 4. Mejora media de la concentración de algunas sustancias tóxicas (expresada en %) entre las 8 y 16 horas de funcionamiento de la placa fotocatalítica ACEAIR.

Componente	Mejora (%)
PM 2,5	51,90
PM 1,0	43,76
PM 10	47,75
Formaldehído	34,50
COV	35,27

el nivel de determinadas partículas procedentes de la emisión generada al consumir cigarrillos.

La placa de espuma cerámica fotocatalítica estudiada presenta características que, *a priori*, resultan atractivas, como unas condiciones de aplicabilidad sencillas y cómodas (según ficha técnica, presenta un nivel sonoro máximo de 25 dBA) y un consumo contenido (que en la unidad testada se correspondía con una potencia de 16 vatios).

En el primer experimento se enciende un único cigarrillo y se determina la capacidad de la placa fotocatalítica

de eliminar partículas en 24 horas observándose una reducción de casi el 100 % de partículas menores de 1 y 2,5 micras, que son aquellas capaces de penetrar en los alvéolos y producir daño pulmonar. La reducción alcanzada en la concentración de las sustancias tóxicas medidas a las 24 horas es solo modestamente superior con placa que sin placa. La placa fotocatalítica reduce entre un 20-25 % la concentración de estas partículas en un entorno cerrado ante la exposición única de un cigarrillo. No obstante, en la vida real el número de cigarrillos consumidos al día por un fumador en una habitación cerrada es habitualmente superior y, por ello, el nivel de exposición al humo de tabaco también lo es. Atendiendo a esto, se realiza un segundo experimento consistente en encender un cigarrillo cada hora durante 8 horas aumentando sustancialmente la concentración de partículas en 24 horas, resultando dicho aumento ligeramente menor con placa fotocatalítica que sin ella. En 24 horas se observa un 17 % menos de concentración de las partículas más dañinas para el pulmón (de 1 y 2,5 micras) tras instalarse la placa fotocatalítica, pero en ningún momento consigue eliminar todas las sustancias tóxicas medidas tras 24 horas de funcionamiento.

Uno de los puntos fuertes de este estudio es su realización en una habitación en condiciones controladas, con un porcentaje de humedad y temperatura con conocidas variaciones y en un tiempo preciso, a diferencia de otros estudios en los que los resultados dependían de otros factores como la adherencia de los sujetos intervinientes a dichos dispositivos⁽²⁷⁾. Así, disponemos de unos datos objetivos sobre la velocidad y el tiempo necesario de la placa fotocatalítica para eliminar las partículas del humo de tabaco estudiadas, así como la asociación entre la dosis de tabaco y la velocidad de eliminación de las partículas y los compuestos de este.

Somos conscientes de la presencia de algunas limitaciones en nuestro estudio.

Primero, el hecho de que los resultados obtenidos puedan presentar cierta variabilidad en las reacciones fotocatalíticas en función de la luz solar y del número de horas del día. Pese a ello, el estudio se realizó con luz artificial en su mayoría.

Segundo, en nuestro estudio hemos determinado solo partículas, formaldehídos y COV y no otros componentes del humo de tabaco que presentan evidente toxicidad, como las acroleínas, monóxido de carbono, etc.

Tercero, nuestro estudio ha encontrado unas reducciones modestas en las concentraciones de algunas sustancias tóxicas mediante la utilización de la placa fotocatalítica; sin embargo, este estudio no sirve para determinar si esas reducciones tienen impacto en la salud de las personas que están sometidas al aire contaminado por humo de tabaco.

Cuarto, ciertas limitaciones técnicas han podido tener influencia. Por un lado, hay que tener en cuenta la limitación que supone el hecho de que la humedad ambiental media registrada fuera distinta en los días en que se realizó el primer experimento, así como la temperatura y la humedad medias en el segundo, lo cual ha podido implicar un sesgo en este sentido. Por otro, es pertinente señalar que los medidores de partículas IGERESS presentaban un umbral de detección superior de 1.000 (lo cual, sin duda, ha generado la aparición de un “efecto techo” objetivado en alguna de las gráficas). No obstante, teniendo eso en cuenta, hemos utilizado de forma complementaria el medidor de partículas mayores a 2,5.

Otra limitación ha podido representar el hecho de que, al no existir evidencia previa, se han establecido de manera arbitraria características importantes del estudio como, por ejemplo, el tamaño de la placa fotocatalítica, características de la habitación, etc. Así, la magnitud del efecto medido podría haber sido mayor en el caso de haberse realizado en un *setting* de dimensiones más reducidas, o bien habiendo utilizado una placa de dimensiones o potencia mayores, o varias placas dispuestas en paralelo o una combinación de las anteriores, lo cual contribuiría, sin duda, a un caudal circulante de aire mayor y consiguientemente, a un mayor efecto potencialmente medido.

En conclusión, la placa fotocatalítica tipo ACEAIR puede ser un medio para reducir ligeramente y de forma efectiva la concentración de ciertas partículas procedentes del humo de tabaco que son respirables y causantes de toxicidad. No obstante, esa reducción es modesta y sin impacto aparente en la protección de la salud frente al aire contaminado por humo de tabaco, teniendo en cuenta la evidencia científica disponible actualmente.

Hasta el momento, no se ha demostrado que distintos dispositivos como los purificadores de aire con filtros HEPA y las placas fotocatalíticas sean capaces de proteger de forma segura a las personas del tabaquismo involuntario resultante de inhalar aire contaminado por humo de tabaco. De este modo, quizá puedan y

deban de ser varias las estrategias a emplear en un futuro encaminadas a la protección frente a la pléyade de tóxicos ambientales presentes en entornos cerrados, provenientes no solo del consumo de cigarrillos convencionales, sino también de productos relacionados como los cigarrillos electrónicos^(28,29), tabaco de calentar^(30,31), etc. Por ello, en el momento actual, la mejor forma de evitar esta exposición sigue siendo la prohibición efectiva del consumo de tabaco en entornos cerrados⁽³²⁾ y el resto de medidas de probada eficacia frente al tabaquismo que confieren estrategias como la MPOWER de la OMS⁽³³⁾.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores niegan la existencia de conflicto de intereses en relación con este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carreras G, Lugo A, Gallus S, Cortini B, Fernández E, López MJ, et al. Burden of disease attributable to second-hand smoke exposure: A systematic review. *Prev Med*. 2019; 129: 105833.
2. Pérez-Ríos M, Fernández E, López MJ. Smoking-attributable mortality in Spain: Quo Vadis? *Arch Bronconeumol*. 2021; 57(8): 515-6.
3. López MJ, Pérez-Ríos M, Schiaffino A, Fernández E. Mortality attributable to secondhand smoke exposure in Spain (2011). *Nicotine Tob Res*. 2016; 18(5): 1307-10.
4. Carreras G, Lachi A, Cortini B, Gallus S, López MJ, López-Nicolás A, et al. Burden of disease from second-hand tobacco smoke exposure at home among adults from European Union countries in 2017: an analysis using a review of recent meta-analyses. *Prev Med*. 2021; 145: 106412.
5. World Health Organization. World Health Organization. (2015). WHO report on the global tobacco epidemic, 2015: raising taxes on tobacco. World Health Organization [Internet]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/178574> [Citado: 23 de junio de 2021].
6. Oberg M, Jaakkola MS, Woodward A, Peruga A, Prüss-Ustün A. Worldwide burden of disease from exposure to second-hand smoke: a retrospective analysis of data from 192 countries. *Lancet*. 2011; 377(9760): 139-46.
7. CDC TobaccoFree. Secondhand Smoke (SHS) Facts. [Internet]. 2021 Disponible en: https://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/fact_sheets/secondhand_smoke/general_facts/index.htm [Citado: 15 de julio de 2021].
8. U.S. Department of Health and Human Services. The Health Consequences of Involuntary Exposure to Tobacco Smoke: A Report of the Surgeon General. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Coordinating Center for Health Promotion, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health; 2006. [Internet]. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK44324/pdf/Bookshelf_NBK44324.pdf [Citado: 15 de julio de 2021].
9. Hoffmann D, Hoffmann I. Significance of exposure to sidestream tobacco smoke. *IARC Sci Publ*. 1987; (81): 3-10.
10. Centers for Disease Control and Prevention (US), National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion (US), Office on Smoking and Health (US). How tobacco smoke causes disease: the biology and behavioral basis for smoking-attributable disease: A Report of the Surgeon General. [Internet]. Atlanta (GA); 2010. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21452462> [Citado: 15 de julio de 2021].
11. Slezakova K, Castro D, Pereira MC, Morais S, Deleue-Matos C, Alvim-Ferraz MC. Influence of tobacco smoke on carcinogenic PAH composition in indoor PM₁₀ and PM_{2.5}. *Atmos Environ*. 2009; 43(40): 6376-82.
12. Matt GE, Quintana PJE, Zakarian JM, Fortmann AL, Chatfield DA, Hoh E, et al. When smokers move out and non-smokers move in: residential thirdhand smoke pollution and exposure. *Tob Control*. 2011; 20(1): e1.
13. Repace JL, Lowrey AH. Indoor air pollution, tobacco smoke, and public health. *Science*. 1980; 208(4443): 464-72.
14. Jiménez Ruiz CA, Riesco Miranda JA, Altet Gómez N, Costa-Miñana JS, Lorza Blasco JJ, Ruiz Manzano J, et al. Impact of legislation on passive smoking in Spain. *Respiration*. 2014; 87(3): 190-5.
15. Mulcahy M, Evans DS, Hammond SK, Repace JL, Byrne M. Secondhand smoke exposure and risk following the Irish smoking ban: an assessment of salivary cotinine concentrations in hotel workers and air nicotine levels in bars. *Tob Control*. 2005; 14(6): 384-8.
16. Nebot M, López MJ, Ariza C, Pérez-Ríos M, Fu M, Schiaffino A, et al. Impact of the Spanish smoking law on exposure to secondhand smoke in offices and hospitality venues: before-and-after study. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(3): 344-7.
17. López MJ, Fernández E, Gorini G, Moshhammer H, Polanska K, Clancy L, et al. Exposure to secondhand smoke in terraces and other outdoor areas of hospitality venues in eight European countries. *PLoS One*. 2012; 7(8): e42130.
18. Repace JL, Hyde JN, Brugge D. Air pollution in Boston bars before and after a smoking ban. *BMC Public Health*. 2006; 6: 266.

19. García-Villarino M, Fernández-Iglesias R, Riaño-Galán I, Rodríguez-Dehli C, Babarro I, Fernández-Somoano A, et al. Prenatal exposure to cigarette smoke and anogenital distance at 4 years in the INMA-Asturias Cohort. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(9): 4774.
20. Rosen LJ, Myers V, Winickoff JP, Kott J. Effectiveness of interventions to reduce tobacco smoke pollution in Homes: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2015; 12(12): 16043-59.
21. Bergmann K-C, Sehlinger T, Gildemeister J, Zuberbier T. A novel experimental technology for testing efficacy of air purifiers on pollen reduction. *Allergo J*. 2017; 26(1): 1-6.
22. Rice JL, Brigham E, Dineen R, Muqueeth S, O'Keefe G, Regenold S, et al. The feasibility of an air purifier and secondhand smoke education intervention in homes of inner city pregnant women and infants living with a smoker. *Environ Res*. 2018; 160: 524-30.
23. Eggleston PA, Butz A, Rand C, Curtin-Brosnan J, Kanchanaraksa S, Swartz L, et al. Home environmental intervention in inner-city asthma: a randomized controlled clinical trial. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2005; 95(6): 518-24.
24. Butz AM, Matsui EC, Breyse P, Curtin-Brosnan J, Eggleston P, Diette G, et al. A randomized trial of air cleaners and a health coach to improve indoor air quality for inner-city children with asthma and second-hand smoke exposure. *Arch Pediatr Adolesc Med*. 2011; 165(8): 741-8.
25. Asociación Ibérica de la Fotocatálisis, ed. Libro Blanco de la Fotocatálisis. [Internet]. 2020. Disponible en: <https://reportarte.wetransfer.com/downloads/2fef11cb-f1e6253af5bd7192dc8685e120200916102850/00091d>
26. Fernández E, López MJ, Gallus S, Semple S, Clancy L, Behrakis P, et al. Tackling second-hand exposure to tobacco smoke and aerosols of electronic cigarettes: the TackSHS project protocol. *Gac Sanit*. 2020; 34(1): 77-82.
27. Batterman S, Du L, Mentz G, Mukherjee B, Parker E, Godwin C, et al. Particulate matter concentrations in residences: an intervention study evaluating stand-alone filters and air conditioners. *Indoor Air*. 2012; 22(3): 235-52.
28. Marcham CL, Springston JP. Electronic cigarettes in the indoor environment. *Rev Environ Health*. 2019; 34(2): 105-24.
29. Schober W, Fembacher L, Frenzen A, Fromme H. Passive exposure to pollutants from conventional cigarettes and new electronic smoking devices (IQOS, e-cigarette) in passenger cars. *Int J Hyg Environ Health*. 2019; 222(3): 486-93.
30. Hirano T, Shobayashi T, Takei T, Wakao F. Exposure assessment of environmental tobacco aerosol from heated tobacco products: Nicotine and PM exposures under two limited conditions. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(22): 8536.
31. Protano C, Manigrasso M, Cammalleri V, Biondi Zoccai G, Frati G, Avino P, et al. Impact of electronic alternatives to tobacco cigarettes on indoor air particular matter levels. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(8): 2947.
32. Filippidis FT, Agaku IT, Girvalaki C, Jiménez-Ruiz C, Ward B, Gratiou C, et al. Relationship of secondhand smoke exposure with sociodemographic factors and smoke-free legislation in the European Union. *Eur J Public Health*. 2016; 26(2): 344-9.
33. World Health Organization. MPOWER. Un plan de medidas para hacer retroceder la epidemia de tabaquismo. Ginebra, 2008. [Internet]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43891>