

INFORME PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Orientado al estudio del tratamiento del aire por fotocátalisis

Impacto de los equipos de purificación del aire por fotocátalisis en la disminución del riesgo de contaminación microbiana en el entorno asistencial. Opción B.

Estudio: IPM 0752021B

Fecha informe: 01/11/2021.

Modificado: 23/11/2021

Ultima modificación: 09/12/2021

Investigadores:

Dr. David Sevillano Fernández^{1,2} (IP), Dr. Luis Alou Cervera^{1,2} (IP), Dra. Natalia González Hidalgo^{1,2}, Dr. Rubén Sánchez Gómez³

¹Microbiología-Departamento de Medicina, Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid

²Investigación y Proyectos Microbiológicos S.L.

³Facultad de Enfermería, Podología y Fisioterapia. Universidad Complutense de Madrid (IP; Investigador principal)

Información técnica:

Informe elaborado por:

Dr. David Sevillano Fernández, Dr. Luis Alou Cervera

Informe técnico firmado por:

Dr. David Sevillano Fernández, Dr. Luis Alou Cervera

1. Objetivo:

Evaluar la influencia de los equipos de purificación del aire por fotocatalisis, en la disminución de la contaminación ambiental del entorno asistencial como mecanismo de prevención del riesgo de exposición del usuario a patógenos exógenos y endógenos.

2. Ámbito de la intervención:

El estudio experimental se desarrolló en la Clínica Pododinámica especializada en Podología deportiva y biomecánica, fisioterapia, osteopatía y nutrición.

Para la intervención seleccionamos un área clínica predispuesto, debido a los procedimientos empleados para la actividad asistencial, a un riesgo crítico de contaminación del ambiente por la producción de bioaerosoles.

El área de la intervención mantuvo, exceptuando los periodos de inactividad programados, una actividad asistencial normal y continuada. La limpieza y desinfección del área fue la habitual después de cada asistencia sanitaria y al finalizar el día. Entre los periodos de asistencia sanitaria o en los periodos de inactividad programados el área se precintó para evitar contaminaciones desde el exterior.

La capacidad del área de la intervención fue de 37,87 m³; superficie de 14,29 m², altura de 2,65 m.

3. Principio y diseño del estudio experimental:

Consistió en el muestreo del aire del área de la intervención antes (intervención control) y después (intervención de ensayo) de la instalación de un equipo de purificación del aire por fotocatalisis para valorar el impacto del sistema en el patrón de contaminación microbiológica del ambiente. Ambas intervenciones estuvieron precedidas por dos días de inactividad y separadas por un periodo de 14 días (5 días de actividad asistencial normal, 2 días de cese de actividad y 5 días adicionales de actividad asistencial).

La intervención control se realizó en primer lugar y comprendió un periodo de 4 días (figura 1) en el que se obtuvieron cuatro muestras diferentes definidas como muestra basal, post 1, post 2 y post 3.

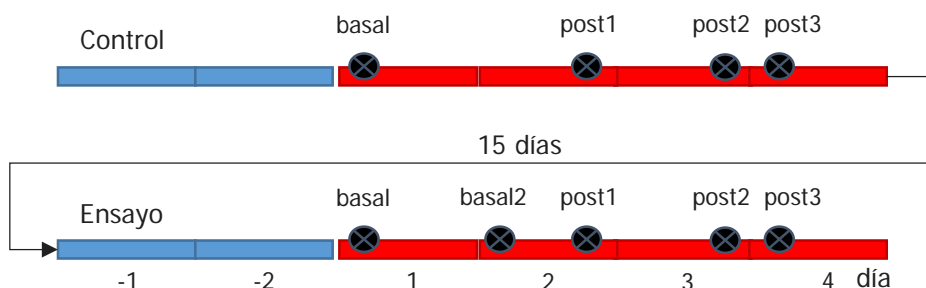
- La muestra basal fue obtenida 15 minutos antes de iniciar la actividad en la clínica tras los dos días consecutivos de inactividad asistencial. Inmediatamente después, el área de la intervención se precintó hasta el día siguiente.
- La muestra post 1 se obtuvo el día 2 tras finalizar la actividad asistencial continuada en el área.
- La muestra post 2 se obtuvo el día 3 tras finalizar la actividad asistencial continuada en el área.
- La muestra post 3 se obtuvo el último día, 15 minutos antes de iniciar la actividad asistencial en la clínica.

La actividad asistencial de los días en los que se obtuvieron las muestras post 1 y post 2 se programó con anterioridad. En cada uno de estos días se atendió de manera ininterrumpida a 7 pacientes que requirieron operaciones de reducción de la lámina ungueal mediante fresado.

La intervención de ensayo se realizó 15 días después del comienzo de la intervención control. Comprendió un periodo de 4 días pero a diferencia de la intervención control además de la muestra basal, post1, post2 y post3, se obtuvo una muestra adicional, definida como basal 2. Esta muestra basal 2 se obtuvo el día 2 de la intervención, 15 minutos antes del inicio de la actividad asistencial en la clínica.

En esta intervención, inmediatamente después de la obtención de la muestra basal el equipo de purificación del aire se puso en funcionamiento hasta finalizar la intervención cuatro días después.

Figura 1. Diagrama esquemático del estudio experimental



4. Equipo de purificación del aire por fotocatalisis:

El equipo es un ventilador fotocatalítico de acción desinfectante compuesto por un catalizador impregnado en dióxido de titanio y emisores LED de luz ultravioleta (UVA) de 365nm y 12 W de iluminación. La superficie fotocatalítica del equipo es de 0,25 m². El aire contaminado entra en la unidad y vuelve limpio a la sala. La acción de los rayos UVA sobre el dióxido de titanio genera especies reactivas del oxígeno que descomponen el ADN microbiano por oxidación avanzada. A pleno rendimiento el caudal de filtración es de 200 m³/hora.

5. Procedimiento de obtención de muestras:

El personal accedió al área de la intervención provisto de calzas, bata, gorro y mascarilla. La obtención de las muestras post 1 y post 2 se realizó en ausencia de pacientes y sin modificar las condiciones del entorno tras la última visita. Las muestras fueron obtenidas a una distancia de 50 cm del punto de manejo del paciente y a una altura de 1,2 metros del suelo. En la intervención de ensayo, el equipo de fotocatalisis se situó equidistante del punto de muestreo y del punto de manejo del paciente.

5.1 Muestras:

Se realizó un muestreo microbiológico del aire empleando un sistema colector de muestras M Air T (Merck-Millipore). Brevemente; El sistema colector aspira aire del entorno (caudal de 140 L/min) a través de una rejilla porosa que dirige el flujo captado hacia la superficie de placas de contacto con medio nutritivo. Cada muestreo consistió en la obtención de dos muestras simultaneas de 500 L en dos medios nutritivos diferentes; agar de soja tríptico (TSA) para la detección de bacterias aerobias mesófilas y agar Sabouraud dextrosa para la detección de hongos filamentosos y levaduras.

Inmediatamente después de la obtención de las muestras, las placas se enviaron al laboratorio de microbiología (Facultad de Medicina, Universidad Complutense) para su procesado. En el

laboratorio las placas se incubaron a 35°C durante 48 horas en atmósfera convencional. Transcurrido este tiempo se procedió al recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) empleando un sistema automatizado de recuento (Easy Count 2, AES).

5.2 Medida de la contaminación e impacto del equipo de fotocatalisis en el ambiente:

Los resultados de los muestreos fueron expresados en UFC/m³ de aire filtrado y en logaritmos en base 10 (Log) UFC/m³ de bacterias aerobias y de hongos. El cambio en la contaminación del ambiente (CCA) en los muestreos M (basal2, post1, post2 y post3) con respecto a la contaminación basal se estableció mediante la expresión $CCA = \text{Log UFC/m}^3 \text{ basal} - \text{Log UFC/m}^3 \text{ M}$, donde un valor positivo indicó incremento de la carga de microorganismos en el ambiente y un valor negativo reducción.

A efectos comparativos los recuentos de UFC/m³ fueron normalizados, para eliminar las diferencias de carga inicial (muestra basal) entre ambas intervenciones empleando la siguiente expresión;

$\%R = 100 - (\text{UFC/m}^3 \text{ M} * 100) / \text{UFC/m}^3 \text{ basal}$, donde

%R fue el cambio porcentual de la carga bacteriana en los muestreos M (Basal2, post1, post2 o post3), con respecto al recuento de microorganismos en la muestra basal (0%). Un valor positivo indicó reducción porcentual de la carga y un valor negativo el incremento porcentual de la contaminación.

6. Resultados:

Los recuentos de bacterias y hongos determinados durante la intervención control y de ensayo y los cambios en la contaminación a lo largo de la intervención con respecto a la contaminación basal se describen resumidamente en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Recuento (UFC/m³ y Log UFC/m³) de bacterias y hongos en la intervención control y cambio en la contaminación ambiental (CCA, en Log UFC/m³)

Muestra	Bacterias			Hongos		
	UFC/m ³	Log UFC/m ³	CCA	UFC/m ³	Log UFC/m ³	CCA
Basal	30	1,48		8	0,90	
Post 1	98	1,99	0,51	8	0,90	0,00
Post 2	456	2,66	1,18	8	0,90	0,00
Post 3	60	1,78	0,30	6	0,78	-0,12

Tabla 2. Recuento (UFC/m³ y Log UFC/m³) de bacterias y hongos en la intervención de ensayo y cambio en la contaminación ambiental (CCA, en Log UFC/m³)

Muestra	Bacterias			Hongos		
	UFC/m ³	Log UFC/m ³	CCA	UFC/m ³	Log UFC/m ³	CCA
Basal	166	2,22		44	1,64	
Basal2	68	1,83	-0,39	14	1,15	-0,50
Post 1	102	2,01	-0,21	10	1,00	-0,64
Post 2	92	1,96	-0,26	4	0,60	-1,04
Post 3	32	1,51	-0,71	2	0,30	-1,34

- La carga bacteriana basal por m³ de aire filtrado fue cinco veces superior en la intervención de ensayo. Esta diferencia dificultó la comparación directa de los resultados de carga bacteriana del ambiente obtenidos en ambas intervenciones
- A través del cambio de carga microbiana, bacteriana o fúngica, (en log/m³) con respecto a la muestra basal de la intervención control o de ensayo, se determinó que el patrón de contaminación fue diferente en ambas intervenciones. Mientras que la contaminación del ambiente se incrementó con respecto a la contaminación basal durante la intervención control, la contaminación tendió a disminuir en la intervención de ensayo.
- Dada la capacidad del área de la intervención (37,87 m³) y del caudal de filtración del equipo a máximo rendimiento (200 m³/h), se garantizó la renovación completa del aire de la sala cada 12 minutos aproximadamente.

Cambios ambientales en la carga bacteriana:

- En la intervención control, tras uno y dos días de actividad asistencial continuada, la carga bacteriana aumentó entre 3 (CCA de 0,51 Log UFC/m³, post 1) y 15 veces (CCA de 1,18 Log UFC/m³; post2) con respecto al recuento bacteriano basal.
- El muestreo post3 reflejó una carga bacteriana residual en el ambiente muy superior a la carga bacteriana basal (0,30 unidades Log UFC/m³) a pesar de la inactividad asistencial desde el

muestreo post2 y de la pronunciada descontaminación natural existente en este periodo (2,66 vs. 1,78 Log UFC/m³ en los muestreos post2 vs. post3),

- En ausencia de actividad asistencial, el equipo de purificación del aire (junto a la descontaminación natural del ambiente) originó una fuerte disminución de la carga bacteriana basal (2,22 vs. 1,83 Log UFC/m³ en los muestreos basal y basal2) al comienzo del segundo día de la intervención de ensayo (basal2, 0,39 Log UFC/m³ de reducción).
- El equipo controló la contaminación del aire en los dos días de intensa actividad asistencial (0.21 y 0.26 Log UFC/m³ de reducción en los muestreos post 1 y post 2), a pesar del incremento de carga bacteriana del ambiente producto de la actividad asistencial continuada (2.01 Log UFC/m³ y 1,96 Log UFC/m³ de carga en los muestreos post 1 y post2 con respecto a 1,83 Log UFC/m³ de carga bacteriana en el muestreo basal2).
- El muestreo post 3 representó un hito similar al basal2. En ausencia de actividad asistencial desde el muestreo post 2, el equipo de purificación en conjunción con la descontaminación natural del ambiente redujo la carga bacteriana con respecto al muestreo precedente (1,96 vs 1.51 Log UFC/m³ en los muestreos post2 y post3) en una extensión similar a la del muestreo basal2. En este muestreo se consiguió la mayor descontaminación del aire del ensayo (0,71 Log UFC/m³ de reducción).

Cambios ambientales en la carga bacteriana:

- El recuento basal de hongos fue inferior al de bacterias con independencia de la intervención.
- En la intervención control los recuentos de hongos se sostienen a lo largo de los dos días de actividad asistencial (muestras post 1 y post2) con ligeros descensos el último día (post3)
- Con el equipo purificador en funcionamiento se observa un progresivo descenso de la carga fúngica con respecto a la carga basal. Como se aprecia en la tabla 2, este descenso fue muy acusado durante el primer día de la intervención y continuó descendiendo aún con una intensa actividad asistencial

En la tabla 3 se expresa la evolución de la contaminación (en porcentaje) una vez normalizados los datos con respecto a los recuentos basales de UFC/m³ de aire filtrado.

Tabla 3. Cambio porcentual de la carga bacteriana en los muestreos de las intervenciones control y de ensayo con respecto al muestreo basal

Muestra	Intervención control		Intervención de ensayo	
	Bacterias	Hongos	Bacterias	Hongos
Basal	0,00	0,00	0,00	0,00
Basal2	-	-	59,04	68,18
Post 1	-226,67	0,00	38,55	77,27
Post 2	-1420,00	0,00	44,58	90,91
Post 3	-100,00	25,00	80,72	95,45

Un valor positivo indicó reducción porcentual de la carga y un valor negativo el incremento porcentual de la contaminación.

- La contaminación bacteriana aumenta en un 100% al finalizar el ensayo en ausencia de equipo de fotocatalisis

- Con el equipo purificador del aire en funcionamiento, la contaminación bacteriana del ambiente se reduce progresivamente a pesar de la actividad asistencial continuada, alcanzando una reducción del 80% al finalizar el estudio.
- Este efecto sobre la descontaminación es más drástico frente a las especies fúngicas con reducciones del 95% en la carga del ambiente al finalizar la observación, posiblemente atribuido a una descontaminación natural más rápida (25% en la intervención control).

7. Discusión y conclusiones:

Los profesionales sanitarios representan un colectivo con un riesgo creciente de contraer enfermedades infecciosas debido a la exposición a bioaerosoles dentro de su ambiente laboral. La podología es considerada profesión de riesgo ocupacional como consecuencia de los bioaerosoles originados por los procedimientos asistenciales empleados en la atención al paciente. Particularmente como consecuencia de las operaciones de reducción de la lámina ungueal con fresas rotativas que originan finas partículas en suspensión, aerosoles biológicos (diámetro de 0,1 y 100 μm), compuestos por queratina, hidrolizados de queratina, hongos, artrosporas fúngicas y filamentos junto con otros residuos microbianos y restos celulares. Un estudio (Abramson & Wilton, 1984) reflejó que la reducción de uñas hiperqueratósicas infectadas por hongos produce un polvo potencialmente incontrolado y peligroso. El 86% del polvo producido durante la actividad asistencial presentaba un diámetro de partícula de entre 0,8 y 1,6 μm , capaz de alcanzar los bronquiolos y alveolos en caso de inhalación. En el caso de las partículas más pequeñas, este polvo en suspensión puede llegar a mantenerse en el aire hasta 10 horas después de una sesión clínica.

Nuestro ensayo demuestra que la actividad asistencial contribuye intensamente, al margen de los contaminantes exógenos, a la producción de bioaerosoles contaminantes en el entorno asistencial (ver muestreos post1 y post2 vs. muestreo basal y basal2) y que estos bioaerosoles están representados mayoritariamente por bacterias. Las bacterias son los microorganismos más representativos de la microbiota humana pero también los organismos cultivables más fáciles de recuperar en medios nutricionales artificiales. La dificultad para recuperar hongos, especialmente dermatofíticos, en los medios de cultivo pudo infravalorar su representación en los bioaerosoles generados durante la actividad asistencial. Además hay que tener en cuenta que muchos de los pacientes intervenidos durante la actividad acudieron con cuadros de infección en la lámina ungueal (onicomicosis) cuya etiología es principalmente fúngica. Esta dificultad para recuperar hongos en los medios de cultivo podría explicar los bajos recuentos fúngicos en la carga microbiana ambiental y especialmente después de los dos días de actividad asistencial continuada. De igual modo explicaría la descontaminación natural más rápida que en el caso de las bacterias, al menos en ausencia de equipo de purificación del aire, ya que el tamaño de partícula de las esporas debería garantizar un mayor tiempo de volatilidad en el ambiente.

En cualquier caso el estudio de la contaminación microbiológica del ambiente en el entorno sanitario debería complementarse con el análisis de las partículas en suspensión debido a que como bioaerosoles, como ya se ha comentado, podrían también entenderse los fragmentos de hongos y de restos celulares en general.

La diferente carga microbiana basal encontrada en ambas intervenciones supuso un serio inconveniente para valorar el papel del equipo purificador en el control de la contaminación ambiental. Esta diferencia de carga microbiana en los muestreos basales podría explicarse por la acumulación continuada de bioaerosoles en el área de la intervención desde el inicio de la intervención control y por las medidas de control de la contaminación exterior adoptadas para el desarrollo del estudio. Como refleja el mismo muestreo basal (de ambas intervenciones), el área de la intervención presentó contaminación ambiental residual previa al inicio de la actividad asistencial, a pesar de la descontaminación natural del ambiente durante los periodos de inactividad. Esta descontaminación natural del ambiente apareció claramente en la intervención control entre las muestras post2 y post3. Dado que durante el estudio, incluyendo el periodo de lavado entre intervenciones (15 días con días de actividad asistencial alternados por periodos de cese de actividad), el área de la intervención se precintó con un uso exclusivo para las actividades

asistenciales para evitar contaminaciones del exterior, se asume que la contaminación residual del área de la intervención se incrementó progresivamente (ante la menor descontaminación natural del ambiente) entre intervenciones contribuyendo a las diferencias de carga basales observadas.

No obstante a pesar de las importantes diferencias de carga basal bacteriana y fúngica, encontradas entre la intervención control y en la de ensayo, ambas intervenciones mostraron patrones de contaminación, descontaminación, del ambiente opuestos con pronunciadas reducciones de la carga microbiana en el ambiente, con respecto a la carga basal, cuando el equipo de purificación del aire se encontró en funcionamiento. El impacto del equipo purificador del aire en el control de la contaminación del ambiente fue más evidente cuando la carga de contaminación microbiana ambiental se normalizó con respecto a la contaminación basal.

La descontaminación del aire que proporciona el equipo debe entenderse como un efecto aditivo al efecto de descontaminación natural del entorno, que puede observarse en los muestreos post3, y especialmente en la intervención control.

En conclusión, este breve ensayo es una demostración del beneficio de los sistemas de purificación del aire en la reducción de la contaminación por bioaerosoles del ambiente en el entorno asistencial.

8. Limitaciones del estudio:

Los resultados del estudio deben ser confirmados con la repetición del ensayo en idénticas condiciones.

Informe técnico elaborado por
Dr. David Sevillano Fernández y
Dr. Luis Alou Cervera
En representación de
Investigación y Proyectos Microbiológicos S.L.