

TÍTULO: RECuento DE PARTÍCULAS:

¿UNA NUEVA FORMA DE ESTABLECER LA SEGURIDAD AMBIENTAL?

LEMA O SEUDÓNIMO: TIRESIAS

RESUMEN:

Estudio de validación del recuento de partículas suspendidas en el aire frente al método ya establecido (cultivo de muestras de aire) en salas hospitalarias de ambiente controlado en condiciones normales.

[Particle counting validation study with an established method (the cultivation of air samples) in a sanitary enclosure under normal conditions.]

PALABRAS CLAVE:

Recuento de partículas; calidad del aire; filtros de aire; contaminación biológica, seguridad del paciente.

[Particle counting; air quality; air filters; biological contamination, patient safety.]

FECHA DE FINALIZACIÓN DEL TRABAJO: julio de 2017

ACRÓNIMOS

CDC: Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos.

UNE: Una Norma Española.

AENOR: Asociación Española de Certificación y Acreditación.

ISO: Organización Internacional de Normalización

UFC: Unidades formadoras de Colonias.

HEPA: Alta Eficiencia de Partículas de Aire.

DE: Desviación Estándar.

RIC: Rango Intercuartílico.

ROC: Característica Operativa del Receptor.

aROC: área bajo la curva ROC

BSA: Bioseguridad Ambiental.

REA: Unidad de Reanimación y Despertar.

UCI: Unidad de Cuidados Intensivos.

CF: Contaminación Fúngica

CB: Contaminación Bacteriana.

INTRODUCCIÓN

El medioambiente hospitalario es una potencial fuente de infecciones nosocomiales a través del aire, el agua y las superficies contaminadas, por lo que es necesario disponer de un sistema de seguridad ambiental dentro de los programas de seguridad del paciente de cada hospital.

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos (CDC) publicaron en 2003 la *Guía para la prevención de las infecciones relacionadas con el medioambiente hospitalario*,⁽¹⁾ donde revisaron la evidencia científica de cada una de las recomendaciones publicadas hasta ese momento. Su objetivo fundamental es evitar que los biocontaminantes entren en las áreas de mayor riesgo de los hospitales y eliminar aquellos generados por la actividad habitual de dichas áreas. Una de estas medidas, avalada por estudios epidemiológicos, consiste en supervisar el cumplimiento de las recomendaciones necesarias (filtración, renovación y presurización) para garantizar un rendimiento óptimo de los sistemas de climatización en la eliminación de las partículas suspendidas en el aire.

Actualmente en España existen una serie de normativas en las que basar el diseño de los sistemas de seguridad ambiental de los hospitales.⁽²⁻⁴⁾ UNE (Una Norma Española) es un conjunto de especificaciones técnicas cuyo objetivo es garantizar la calidad de un producto o de un servicio y donde la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) es la responsable de su elaboración y ratificación.

La UNE 171340:2012, *Validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales*, constituye una excelente herramienta a la hora de diseñar y revisar nuestros sistemas de vigilancia y control de la contaminación ambiental, al establecer unos principios fundamentales para garantizar la seguridad ambiental en los hospitales:

- Clasifica las áreas hospitalarias de ambiente controlado en cuatro grandes grupos: de muy alto riesgo, de alto riesgo, de riesgo intermedio o moderado y de bajo riesgo, con exigencias proporcionales a cada nivel de riesgo.
- Incluye indicaciones, periodicidad y tipos de validaciones a realizar: previa a la puesta en marcha, tras cualquier trabajo de mantenimiento (incluido los cambios de filtros), anual en reposo y periódica o preventiva.
- Define los parámetros a determinar para la validación del correcto funcionamiento del sistema de climatización de las salas de ambiente controlado: temperatura, humedad relativa, presurización, caudales, renovaciones, recuperación de la sala y configuración del flujo de aire.
- Establece el método del muestreo ambiental: parámetros a determinar, aparatos a emplear, preparación del objeto de ensayo y de los equipos, operaciones del ensayo y criterios de valoración de los resultados.

La verificación periódica o preventiva de la seguridad ambiental consiste en la inspección de la situación higiénico-sanitaria de la sala de ambiente controlado, de sus elementos estructurales; la medición de la temperatura y humedad relativa (importantes en el crecimiento y desarrollo de los microorganismos); y la toma de muestras de aire para determinar la presencia y cuantificación de flora fúngica y bacteriana.⁽⁴⁻⁸⁾

Los resultados microbiológicos de las muestras de aire, recuento de unidades formadoras de colonias por 1000 litros (UFC/m³) e identificación de los microorganismos detectados, precisan de un mínimo de 5 días de incubación para su procesamiento.^(9,11) En caso de

biocontaminación la validación de control de una sala de alto riesgo, tras la aplicación de las medidas correctoras o de mejora, supone el cierre de la sala contaminada durante una semana. En el caso de los quirófanos se suspenden las cirugías programadas; en el caso de las habitaciones de aislamiento protector se traslada al paciente a otra habitación que cumpla con los requerimientos mínimos, bloqueando la habitación contaminada hasta disponer de los resultados del control; y en el resto de áreas hospitalarias se valora la necesidad de clausurar el área, o bien, de repetir la verificación una vez llevadas a cabo las propuestas de mejora indicadas, sin haber suspendido su actividad.

El recuento de partículas suspendidas en el aire se utiliza para la clasificación de las áreas de riesgo. Las partículas de 0,3 μ m a 10 μ m de tamaño son útiles para determinar la limpieza del aire y clasificar la sala en función de la Clase-ISO (Organización Internacional de Normalización). Según la UNE 171340:2012, para verificar la efectividad de los filtros HEPA (Filtros de Aire de Alta Eficiencia) se utiliza el recuento de partículas de 0,3 μ m de tamaño, que indica si están bien instalados, sin fugas y libres de daños. El recuento de partículas suspendidas en el aire se realiza de forma inmediata.

Se plantea la posibilidad de utilizar el recuento de partículas como un indicador, provisional pero inmediato, de la seguridad ambiental de las salas controladas con la finalidad de disponer de una medida a tiempo real para la toma de decisiones.

El objetivo del presente estudio es analizar la posible correlación entre el recuento de partículas de 0,3 μ m, 0,5 μ m y 5 μ m de tamaño y las UFC de hongos o bacterias por m³ de aire, obtenidas en el muestreo simultáneo del aire de las distintas áreas del hospital, con el objeto de validar el método de recuento de partículas como un indicador de seguridad ambiental.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio analítico observacional y prospectivo realizado entre julio y diciembre de 2016, con un total de 218 verificaciones de la bioseguridad ambiental: 436 muestras microbiológicas de aire, 654 recuentos de y 218 mediciones de temperatura y humedad relativa. Las verificaciones se realizaron en 14 quirófanos del hospital, en 6 habitaciones de la unidad de trasplante de progenitores hematopoyéticos y sus exclusas (hematología), en 2 salas del banco de sangre destinadas a criopreservación, en 2 salas limpias del servicio de farmacia (preparación de citostáticos y nutriciones parenterales), en 5 salas de la unidad de endoscopia, en el control y 5 boxes de la unidad de reanimación/despertar (REA) y en 8 boxes de la unidad de cuidados intensivos y sus 2 controles (UCI).

Para la toma de muestras de aire se utilizó el muestreador "Biomérieux Air Ideal" de método volumétrico que, mediante aspiración, provoca un flujo de aire sobre el medio de cultivo donde quedan adheridos los microorganismos por impactación. El medio de cultivo fue un agar Sabouraud con cloranfenicol para detectar hongos y un medio de agar sangre para identificar bacterias, con un volumen total de 1000 litros de aire aspirado. Las unidades de medida fueron el recuento de UFC/m³ de bacterias aerobias mesófilas totales tras 48 horas de incubación y la identificación y el recuento de UFC/m³ de hongos tras cinco días de incubación.

Se consideró contaminación fúngica la presencia de *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Mucor* o *Scedosporium* en el aire muestreado y contaminación bacteriana la presencia de más de 100 UFC de bacterias mesófilas totales por m³ de aire muestreado, ajustándose a la

definición de área limpia de la UNE 171340:2012. El criterio de bioseguridad ambiental (BSA) se estableció como la ausencia de contaminación fúngica y bacteriana.

Para el recuento de partículas se utilizó el contador láser "Handheld LPC Modelo 3887" de Kanomax®, que mide la concentración de partículas suspendidas en el aire mediante un sistema fotométrico y un flujo de aire de 0,28 litros/minuto, capaz de diferenciar el número y tamaño de partículas contenidas en el aire. Se realizó la medición durante 5 minutos, paralelamente al muestreo microbiológico, cuantificando el número máximo de partículas de 0,3µm, 0,5µm y 5µm de tamaño.

A nivel estadístico se realizó un análisis descriptivo de los datos. Para las variables cualitativas se determinaron frecuencias y porcentajes, y para las variables cuantitativas la media (DE) y la mediana (RIC). Se analizó la correlación existente entre la contaminación bacteriana y fúngica con el recuento de partículas mediante el coeficiente ρ de Spearman, diferenciando las salas con y sin filtros HEPA.

Finalmente se realizó el cálculo del área bajo la curva ROC (aROC) y los puntos de corte que optimizan la combinación de sensibilidad y especificidad en la asociación entre la bioseguridad ambiental y la cuantificación de los distintos tamaños de partículas. Como punto de corte se decidió utilizar el estadístico J de Youden ($J = \text{sensibilidad} + \text{especificidad} - 1$), por tratarse de un índice resumen de la concordancia de las mediciones.

RESULTADOS

Se realizaron 218 verificaciones sobre BSA, de las cuales 156 (71,6%) fueron en salas dotadas de suministro de aire con filtro HEPA; 62 (28,4%) de las verificaciones se realizaron en salas sin filtro HEPA. Su distribución se presenta en la tabla 1.

En las tablas 2 y 3 se presentan los resultados obtenidos en las verificaciones en las salas con y sin filtros HEPA.

El 14% de las salas muestreadas presentaron contaminación bacteriana, el 29% de las salas sin filtros HEPA y el 8% de las que disponían de HEPA ($p < 0,05$). El 20% del total de las salas presentaron contaminación fúngica, el 37% de las salas sin filtros HEPA y el 13% con filtros HEPA ($p < 0,05$). Al analizar el porcentaje de contaminación bacteriana y la contaminación fúngica en los diferentes servicios estudiados, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2 = 61$; $p < 0,05$ para contaminación bacteriana y $\chi^2 = 43$; $p < 0,05$ para contaminación fúngica), incluso diferenciando según dispongan o no de filtros HEPA ($p < 0,05$).

El porcentaje de BSA global alcanzó el 71%, con un 81% en las salas con filtros HEPA y un 45% en aquellas sin filtro ($p < 0,05$). El 92% de todas las verificaciones realizadas en quirófanos cumplieron los criterios de BSA, el 83% de las salas de banco de sangre, el 75% de hematología, el 75% de farmacia, el 54% de endoscopias y el 20% de UCI. Existen diferencias estadísticamente significativas entre los servicios ($\chi^2 = 73$; $p < 0,05$), aun diferenciando según dispongan o no de filtros HEPA ($\chi^2 = 31$; $p < 0,05$ con filtros HEPA y $\chi^2 = 19$; $p < 0,05$ sin filtro).

La media de partículas de 0,3µm en las salas que disponen de tres niveles de filtración fue de 12885 (DE 20099) con una mediana de 4841 (RIC 12075), frente a las 170140 (DE 175709) y mediana de 88578 (RIC 304457) en las salas sin filtros absolutos ($p < 0,05$). Estas diferencias también se observan con las partículas de 0,5µm y 5µm. En las tabla 2 y 3 se presentan los recuentos de partículas por servicios.

Las correlaciones observadas entre el número de partículas de los diferentes tamaños y el número de bacterias mesófilas o el número de hongos filamentosos en el aire muestreado fueron: para las bacterias ρ de Spearman = 0,6 con partículas de 0,3 μ m, ρ = 0,6 con partículas de 0,5 μ m y ρ = 0,7 con partículas de 5 μ m; y para los hongos de ρ = 0,6 con partículas de 0,3 μ m, ρ = 0,7 con partículas de 0,5 μ m; y ρ = 0,5 con partículas de 5 μ m.

Se realizó un análisis en base a curvas ROC, entre la presencia o ausencia de BSA y los diferentes tamaños de partículas, obteniendo un aROC mayores a 0,8: aROC = 0,84 (IC95% 0,78-0,90) para partículas de 0,3 μ m; aROC = 0,86 (IC95% 0,80-0,92) para partículas de 0,5 μ m; y aROC = 0,84 (IC95% 0,77-0,90) para partículas de 5 μ m. Los resultados globales se presentan en la figura 1; en la figura 2 las aROC en las salas con filtro HEPA y en la figura 3 las de las salas sin filtración.

A partir del estadístico J de Youden, se estableció la cantidad de cada una de las partículas que optimizan la combinación de sensibilidad y especificidad. Así, 8989 partículas de 0,3 μ m presentan una sensibilidad de 82,5% y especificidad de 71,6%, estableciéndola como el mejor punto de corte; los valores correspondientes a partículas de 0,5 μ m son de 3636 partículas, punto de corte que cuenta con una sensibilidad del 74,6% y una especificidad del 82,6%; y para las partículas de 5 μ m el punto de corte es de 319 partículas, con sensibilidad de 77,8% y especificidad de 78,7%.

DISCUSIÓN

La correlación detectada en este estudio entre la contaminación fúngica y bacteriana del aire de las salas de ambiente controlado y el recuento de partículas suspendidas en el aire, confirma la posibilidad de disponer de un indicador, a tiempo real, que ayude a la toma de decisiones relacionadas con la BSA.

Las aROC obtenidas (mayores a 0,8) al analizar la presencia o ausencia de BSA con el número de partículas suspendidas en el aire de las salas muestreadas permite afirmar que el recuento de partículas suspendidas en el aire es un buen predictor de la posible biocontaminación de la sala.

Los resultados encontrados en la bibliografía en estudios similares van en esta misma dirección. Sin embargo nuestro trabajo incluye además la medición de partículas de diferentes tamaños (0,3 μ m, 0,5 μ m y 5 μ m) y en diversas salas del hospital (con y sin filtros HEPA) donde se realizan actividades asistenciales de riesgo, obteniendo similares resultados en todas ellas.

Uriel et al⁽¹²⁾, en 2013, realizaron una validación muy similar en 8 quirófanos dotados de sistema de climatización con tres niveles de filtración y 9 habitaciones sin instalación de ventilación, obteniendo una buena correlación entre los resultados microbiológicos, tanto de hongos como de bacterias, con el recuento de partículas.

Otros autores analizaron la posible asociación entre el número de partículas suspendidas en el aire de distintas salas controladas del hospital con la concentración de bacterias en el aire, detectando una buena correlación en la mayoría de las áreas analizadas;^(13,14) así como con la concentración de hongos y el recuento de partículas de 0,5 μ m y 1 μ m en quirófanos, habitaciones de quemados o hematológicos y salas de farmacia.⁽¹⁵⁾

Por otro lado, Landrin et al⁽¹⁶⁾ no encontraron correlación en su trabajo de 2005, pero hay que señalar que únicamente estudiaron la concentración de hongos oportunistas y las partículas mayores a 0,5 μ m suspendidas en el aire de cuatro quirófanos con 3 niveles de filtración. Como se observa en nuestro estudio es donde el índice de correlación ρ alcanza

uno de los valores más bajos, lo que se explicaría por la presencia de filtros HEPA en el sistema de climatización de los quirófanos.

Por estos motivos, parece factible el uso del recuento de partículas como una herramienta para la discriminación de la BSA en salas controladas. Si en una verificación se obtiene un número de partículas de $0,3\mu\text{m}$ superior a 9000, de $0,5\mu\text{m}$ superior a 3600 o de $5\mu\text{m}$ superior a 300, la probabilidad de estar ante una contaminación ambiental es muy elevada. Es decir, se podría disponer de un buen indicador a tiempo real para la toma inmediata de decisiones, si bien hoy por hoy no sustituiría al muestreo microbiológico de aire de las salas controladas.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra la variabilidad del personal que realizó las mediciones, así como la distancia mantenida entre ambos medidores (sólo se tuvo en cuenta que estuvieran cerca,). Por otro lado, tampoco se pudo controlar el efecto de factores confusores: ventanas y puertas abiertas, tránsito de personas mientras se realizaban las tomas, presencia o ausencia de pacientes o personal sanitario en el mismo lugar de la medición.

Ante todos estos resultados podemos concluir que, en el momento actual, la verificación periódica de la seguridad ambiental de las salas controladas llevada a cabo por los Servicios de Medicina Preventiva en los hospitales, debería consistir en la inspección higiénico-sanitaria y estructural de la sala, la medición de temperatura y humedad relativa, el muestreo microbiológico del aire y el recuento de partículas.

Es necesario validar los resultados de este estudio, tanto en nuestro hospital como en otros centros sanitarios, para aumentar su validez interna y externa, y poder recomendar el uso del recuento de partículas en el aire de las salas de ambiente controlado como método discriminatorio e inmediato de BSA.

BIBLIOGRAFÍA

1. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities: recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC), *MMWR* 2003; 52 (Nº RR-10): 1–48.
2. Norma UNE 100713. Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales.
3. Norma UNE EN ISO 14698-1. Control de la biocontaminación de las salas limpias y ambientes controlados asociados.
4. Norma UNE 171340. Validación y evaluación de salas de ambiente controlado en hospitales y su relación con la microbiología ambiental.
5. Consejería de Sanidad y Servicios Sociales. Comunidad de Madrid. Guía para la prevención de micosis invasoras nosocomiales producidas por hongos oportunistas ambientales. Madrid, 1999.
6. Subdirección General de Obras, Instalaciones y Suministros. Ministerio de Sanidad y Consumo y el INSALUD. Guía práctica para el diseño y mantenimiento de la climatización en quirófanos. Madrid, 1996.
7. Grupo de trabajo del Servicio Vasco de Salud. Recomendaciones para la minimización de los riesgos microbiológicos asociados a las infraestructuras hospitalarias de Osakidetza. Vitoria, 1998.
8. Grupo de trabajo de la Sociedad Española de Medicina Preventiva, Salud Pública e Higiene y el INSALUD. Recomendaciones para la verificación de la bioseguridad ambiental (BSA) respecto a hongos oportunistas. Madrid, 1999. Disponible: www.sempsph.com
9. Gaspar C et al. Control microbiológico aéreo de quirófanos de ventilación plena. Sugerencia de estándares. *Enferm. Infecc. Microbiol. Clin.* 1997; 15: 250-254.
10. Monge V. Contaminación ambiental en zonas de riesgo hospitalario. 2001. Disponible: www.aeih.org/CentroDocumental/Revistas/contaminación-ambiental-zonas-riesgo.asp
11. Cruceta G. Verificación y validación de la calidad ambiental en áreas quirúrgicas. 2005. Disponible: www.segla.net/verificacion.pdf
12. Uriel B. et al. Validez de un método fotométrico de medición de partículas en aire para el control de quirófanos y otras salas de ambiente controlado en los hospitales. *Trauma Fund MAPFRE* (2013) Vol 24 nº 3:195-199.
13. Mirhoseini SH, Nikaeen M, Khanahmd H, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A. Monitoring of airborne bacteria and aerosols in different wards of hospitals - Particle counting usefulness in investigation of airborne bacteria. *Ann Agric Environ Med.* 2015;22(4):670-3. doi: 10.5604/12321966.1185772.
14. Stocks GW, Self SD, Thompson B, Adame XA, O'Connor DP. Predicting bacterial populations based on airborne particulates: a study performed in nonlaminar flow operating rooms during joint arthroplasty surgery. *Am J Infect Control.* 2010 Apr;38(3):199-204. doi: 10.1016/j.ajic.2009.07.006. Epub 2009 Nov 12.
15. Armadans-Gil L, Rodríguez-Garrido V, Campins-Martí M, Gil-Cuesta J, Vaqué-Rafart J. Particle counting and microbiological air sampling: results of the simultaneous use of both procedures in different types of hospital rooms. *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 2013 Apr;31(4):217-21. doi: 10.1016/j.eimc.2012.01.005. Epub 2012 Apr 22.
16. Landrin A. et al. Monitoring air sampling in operating theatres: can particle counting replace microbiological sampling?. *J Hosp infect* 2005;61:27-9.
17. Wan GH, Chung FF, Tang CS. Long-term surveillance of air quality in medical center operating rooms. *Am J Infect Control.* 2011 May;39(4):302-8. doi:

10.1016/j.ajic.2010.07.006. Epub 2011 Jan 22. Erratum in: Am J Infect Control. 2011 Jun;39(5):444.

18. Organiscak JA, Cecala AB, Noll JD. Field assessment of enclosed cab filtration system performance using particle counting measurements. J Occup Environ Hyg. 2013;10(9):468-77. doi: 10.1080/15459624.2013.818240.
19. Pasquarella C, Vitali P, Sacconi E, Manotti P, Boccuni C, Ugolotti M, Signorelli C, Mariotti F, Sansebastiano GE, Albertini R. Microbial air monitoring in operating theatres: experience at the University Hospital of Parma. J Hosp Infect. 2012 May;81(1):50-7. doi: 10.1016/j.jhin.2012.01.007. Epub 2012 Mar 30.
20. Scaltriti S, Cencetti S, Rovesti S, Marchesi I. et al. P. Risk factors for particulate and microbial contamination of air in operating theatres. J Hosp Infect. 2007 Aug;66(4):320-6. Epub 2007 Jul 25.

ANEXOS

Tabla 1. Descriptivo de las mediciones realizadas

	General (218)		Con filtros HEPA (156)		Sin Filtros HEPA (62)	
	N	%	N	%	N	%
Servicios						
Endoscopias	13	5,96	13	8,33	0	0,00
Banco de sangre	6	2,75	2	1,28	4	6,45
Farmacia	4	1,83	0	0,00	4	6,45
Hematología	60	27,52	36	23,08	24	38,71
Quirófanos	71	32,57	71	45,51	0	0,00
UCI	40	18,35	10	6,41	30	48,39
Reanimación	24	11,01	24	15,38	0	0,00
Contaminación bacteriana						
NO	188	86,24	144	92,31	44	70,96
SI:	30	13,76	12	7,69	18	29,03
Endoscopias	3	10,00	3	25,00	-	-
Banco de sangre	1	3,33	0	0,00	1	5,56
Farmacia	0	0,00	-	-	0	0,00
Hematología	5	16,67	3	25,00	2	11,11
Quirófanos	0	0,00	0	0,00	-	-
UCI	20	66,67	5	41,67	15	83,33
Reanimación	1	3,33	1	8,33	-	-
Contaminación fúngica						
NO	175	80,28	136	87,18	39	62,90
SI:	43	19,72	20	12,82	23	37,09
Endoscopias	3	6,98	3	15,00	-	-
Banco de sangre	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Farmacia	1	2,33	-	-	1	4,35
Hematología	10	23,26	5	25,00	5	21,74
Quirófanos	6	13,95	6	30,00	-	-
UCI	22	51,16	1	5,00	17	73,91
Reanimación	1	2,33	5	25,00	-	-
Bioseguridad Ambiental						
NO	63	28,89	29	18,58	34	54,84
SI:	155	71,10	127	81,41	28	45,16
Endoscopias	7	4,52	7	5,51	-	-
Banco de sangre	5	3,23	2	1,57	3	10,71
Farmacia	3	1,94	-	-	3	10,71
Hematología	45	29,03	28	22,05	17	60,71
Quirófanos	65	41,94	65	51,18	-	-
UCI	8	5,16	3	2,36	5	17,86
Reanimación	22	14,19	22	17,32	-	-

UCI: Unidad de Cuidados Intensivos, HEPA: High Efficiency Particulate Air

Tabla 2. Resultados de las mediciones en salas con filtro HEPA

Con filtros HEPA		Media	DE	Mediana	Mínimo	Máximo
Globales	UFC Hongos	0,54	1,35	0	0	12
	UFC Bacterias	41,57	46,19	25	0	200
	Partículas 0,3	12884,84	20098,93	4841	21	121507
	Partículas 0,5	2884,43	4247,16	1582	3	33464
	Partículas 5	273,51	350,89	176	0	3295
Quirófanos	UFC Hongos	0,31	0,73	0	0	2
	UFC Bacterias	22,63	17,08	18	2	86
	Partículas 0,3	7522,41	13904,48	2358	516	91119
	Partículas 0,5	1481,53	1549,63	914	136	8866
	Partículas 5	163,28	111,57	126	22	533
UCI	UFC Hongos	1,6	1,26	2	0	4
	UFC Bacterias	121,2	59,12	100	60	200
	Partículas 0,3	54169,8	20640,91	52143	28321	81486
	Partículas 0,5	14763,1	8299,78	13793	5679	33464
	Partículas 5	1204,9	844,11	980,5	394	3295
Banco de sangre	UFC Hongos	0	0	0	0	0
	UFC Bacterias	0	0	0	0	0
	Partículas 0,3	110,5	126,57	110,5	21	200
	Partículas 0,5	15,5	17,67	15,5	3	28
	Partículas 5	0	0	0	0	0
Hematología	UFC Hongos	0,5	0,88	0	0	2
	UFC Bacterias	48,33	49,53	32	0	200
	Partículas 0,3	11080,22	12238,44	7564,5	1911	71562
	Partículas 0,5	2853,88	2808,75	1944	707	16240
	Partículas 5	279,97	196,93	198,5	74	810
Reanimación	UFC Hongos	0,25	0,09	0	0	4
	UFC Bacterias	35,50	34,76	29	2	160
	Partículas 0,3	3288,79	2253,40	3217	647	10494
	Partículas 0,5	1690,62	1007,32	1659	343	4249
	Partículas 5	186,79	90,28	197,5	61	355
Endoscopias	UFC Hongos	1,69	3,54	0	0	12
	UFC Bacterias	82,46	62,50	80	4	200
	Partículas 0,3	35092,77	31273,92	30376	684	121507
	Partículas 0,5	4138,84	2684,79	3636	55	10606
	Partículas 5	343,38	164,04	359	1	560

HEPA: High Efficiency Particulate Air, UFC: Unidades Formadoras de Colonias, UCI: Unidad de Cuidados Intensivos.

Tabla 3. Resultados de las mediciones en salas sin filtro HEPA

Sin filtros HEPA		Media	DE	Mediana	Mínimo	Máximo
Globales	UFC Hongos	25,11	58,46	4	0	200
	UFC Bacterias	82,64	59,51	63	10	200
	Partículas 0,3	170139,7	175709	88577,5	2708	600340
	Partículas 0,5	34237,06	48289,23	14322,5	754	256398
	Partículas 5	706,83	827,70	429,5	23	4862
Banco de sangre	UFC Hongos	8	16	0	0	32
	UFC Bacterias	60	93,37	15	10	200
	Partículas 0,3	98265	134588,8	45414,5	4857	297374
	Partículas 0,5	15719,5	25244,83	4321	754	53482
	Partículas 5	372,25	549,35	128,5	39	1193
Farmacia	UFC Hongos	2,5	1,91	3	0	4
	UFC Bacterias	24	5,65	22	20	32
	Partículas 0,3	245085,8	169391,8	265510,5	45109	404213
	Partículas 0,5	28426,75	23537,57	26358	4090	56901
	Partículas 5	162	184,31	100,5	23	424
Hematología	UFC Hongos	1,08	1,66	0	0	6
	UFC Bacterias	67,75	28,77	70	20	120
	Partículas 0,3	12989,29	16213,08	8117,5	2708	80022
	Partículas 0,5	249,45	2053,11	2572,5	1314	8962
	Partículas 5	324,45	105,91	311,5	151	530
UCI	UFC Hongos	49,63	77,13	12	2	200
	UFC Bacterias	105,4	68,00	102	20	200
	Partículas 0,3	295450,5	147379,2	296369,5	61922	600340
	Partículas 0,5	62270,87	55845,5	47086	9351	256398
	Partículas 5	1130	1017,24	854,5	130	4862

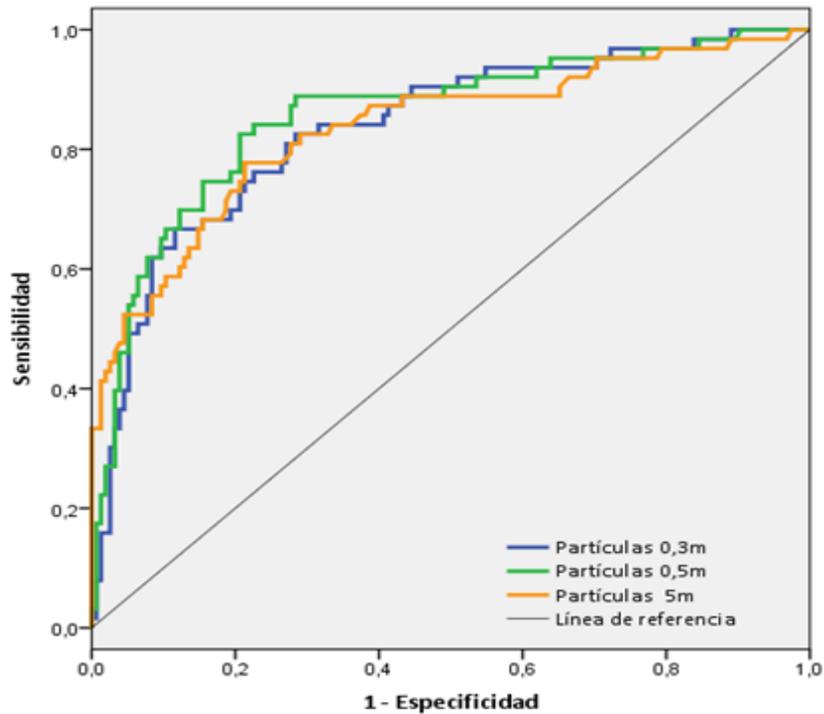
HEPA: High Efficiency Particulate Air, UFC: Unidades Formadoras de Colonias, UCI: Unidad de Cuidados Intensivos.

Tabla 4. Correlación entre el recuento de partículas y las UFC de hongos o bacterias

Correlación (ρ de Spearman)		UFC/m3 de hongos		UFC/m3 de bacterias	
		ρ	significación	ρ	significación
Partículas 0,3 μm	Salas con HEPA	0,22	p<0,05	0,44	p<0,05
	Salas sin HEPA	0,66	p<0,05	0,26	p<0,05
Partículas 0,5 μm	Salas con HEPA	0,26	p<0,05	0,53	p<0,05
	Salas sin HEPA	0,67	p<0,05	0,28	p<0,05
Partículas 5 μm	Salas con HEPA	0,21	p<0,05	0,56	p<0,05
	Salas sin HEPA	0,62	p<0,05	0,52	p<0,05

HEPA: High Efficiency Particulate Air, UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

Figura 1. Asociación entre BSA y el número de partículas de 0,3 μm , 0,5 μm y 5 μm en el conjunto de las salas muestreadas



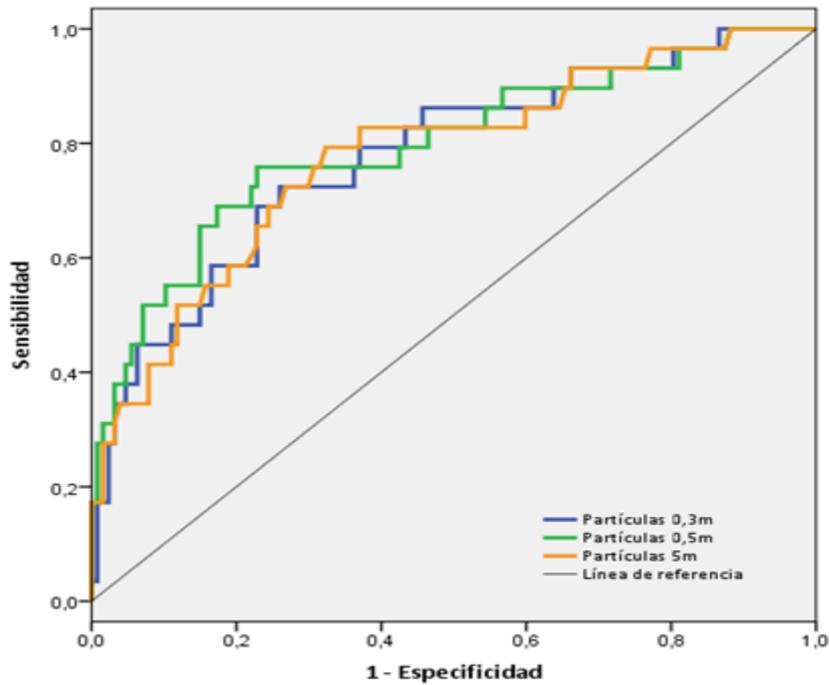
Área bajo la curva (en todas las salas)

Variables de contraste	Área	Error típ. ^a	Significación ^b	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Partículas 0,3 μm	,836	,031	,000	,775	,897
Partículas 0,5 μm	,856	,030	,000	,797	,915
Partículas 5 μm	,835	,033	,000	,770	,899

a. Bajo el supuesto no paramétrico

b. Hipótesis nula: área verdadera = 0,5

Figura 2. Asociación entre BSA y el número de partículas de 0,3 μm , 0,5 μm y 5 μm en las salas con tres niveles de filtración (último HEPA)



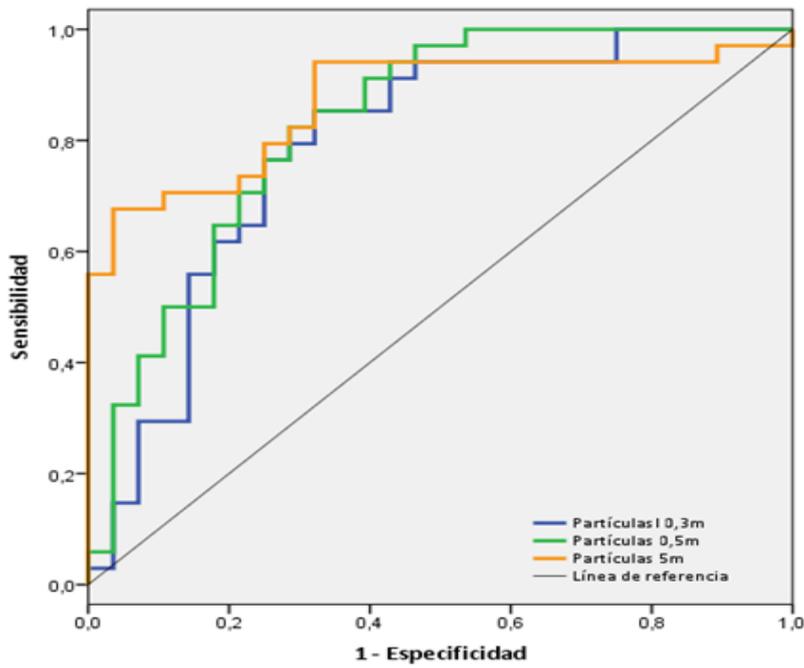
Área bajo la curva (en salas con HEPA)

Variables de contraste	Área	Error típ. ^a	Significación ^b	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Partículas 0,3 μm	,777	,050	,000	,679	,875
Partículas 0,5 μm	,796	,051	,000	,696	,896
Partículas 5 μm	,777	,050	,000	,679	,875

a. Bajo el supuesto no paramétrico

b. Hipótesis nula: área verdadera = 0,5

Figura 3. Asociación entre BSA y el número de partículas de 0,3 μm , 0,5 μm y 5 μm en las salas sin sistema de filtración HEPA



Área bajo la curva (en salas sin HEPA)

Variables de contraste	Área	Error típ. ^a	Significación ^b	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Partículas 0,3 μm	,791	,061	,000	,672	,910
Partículas 0,5 μm	,830	,054	,000	,724	,935
Partículas 5 μm	,870	,047	,000	,778	,961

a. Bajo el supuesto no paramétrico

b. Hipótesis nula: área verdadera = 0,5