

Artículo Original

Evaluación microbiológica del caudal de impulsión y extracción mecánica en habitaciones hospitalarias de aislados infecciosos e inmunodeprimidos

Microbiological evaluation of the discharge flow and mechanical extraction in hospital rooms of infectious and immunosuppressed isolates

<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.625.009>

Roberto Carlos Dávila Morán ^{1,*}

<https://orcid.org/0000-0003-3181-8801>

Guadalupe Ramírez Reyes ²

<https://orcid.org/0000-0002-4007-7729>

Pedro Getulio Villavicencio Guardia ²

<https://orcid.org/0000-0003-4640-6711>

Gelacio Pozo Pino ²

<https://orcid.org/0000-0002-8425-2373>

Blanca Judith Córdova Cuellar ²

<https://orcid.org/0000-0003-2131-0799>

Arcelia Olga Rojas Salazar ³

<https://orcid.org/0000-0003-3731-4057>

Lindomira Castro Llaja ³

<https://orcid.org/0000-0003-2343-8999>

Recibido: 14/05/2022

Aceptado: 11/10/2022

RESUMEN

Por las particularidades de los hospitales, su entorno contiene un gran número de microorganismos proporcionando condiciones muy favorables para la reproducción y la propagación de microorganismos patógenos. Por otro lado, como un sitio importante del uso de antibióticos, las infecciones asociadas a hospitales y la resistencia a los antimicrobianos promueven mutuamente la formación de un círculo vicioso. Existen fuertes evidencias de que la transmisión por aire y aerosoles de los microorganismos patógenos están muy extendidos en los entornos hospitalarios. En ese sentido, las partículas transportadas por el aire se caracterizan por su baja densidad, invisibilidad y susceptibilidad a la turbulencia. El asentamiento de partículas infecciosas en el aire sobre la herida de un paciente puede causar infecciones en cirugía o en caso más graves, infectar a pacientes con sistemas inmunológicos comprometidos, o puede conducir, si las condiciones de ventilación no son apropiadas, a la diseminación de bacterias y hongos (bioaerosoles) desde pacientes infecciosos a toda la comunidad hospitalaria. Para mejorar el estado de estas infecciones asociadas a los hospitales, los sistemas tradicionales se han centrado en estrategias para eliminar patógenos presentes en pacientes, superficies clínicas y trabajadores de la salud, que ha impulsado la implementación de varios protocolos de control y desinfección de infecciones que también han tenido éxito en la reducción de la incidencia de este tipo de infecciones hospitalarias. Dentro de estos procedimientos, está el uso de sistema de ventilación con presión de aire positiva o negativa. El objetivo de este trabajo es determinar la capacidad de control microbiano de los sistemas de ventilación en dos centros de asistencia médica del Perú en habitaciones con pacientes inmunosuprimidos (VIH/Sida) aislados o en habitaciones de pacientes infecciosos.

Palabras clave: Habitaciones hospitalarias, pacientes inmunosuprimidos, caudal de impulsión, presión de aire.

ABSTRACT

Due to the particularities of hospitals, their environment contains a large number of microorganisms, providing very favorable conditions for the reproduction and spread of pathogenic microorganisms. On the other hand, as an important site of antibiotic use, hospital-associated infections and antimicrobial resistance mutually promote the formation of a vicious circle. There is strong evidence that airborne and aerosol transmission of pathogenic microorganisms is widespread in hospital settings. In that sense, airborne particles are characterized by their low density, invisibility, and susceptibility to turbulence. The settling of airborne infectious particles on a patient's wound can cause infections in surgery or, in more serious cases, infect patients with compromised immune systems, or can lead, if ventilation conditions are not appropriate, to the spread of pathogens, bacteria and fungi (bioaerosols) from infectious patients to the entire hospital community. To improve the status of these hospital-associated infections, traditional systems have focused on strategies to eliminate pathogens present in patients, clinical surfaces, and healthcare workers, which has prompted the implementation of various infection control and disinfection protocols that they have also been successful in reducing the incidence of this type of hospital infection. Within these procedures, there is the use of a ventilation system with positive or negative air pressure. The objective of this work is to determine the microbial control capacity of the ventilation systems in two medical care centers in Peru in rooms with immunosuppressed patients (HIV/AIDS) isolated or in infectious patient rooms.

Keywords: Hospital rooms, Immunosuppressed patients, Impulsion flow, Air pressure.

¹ Universidad Continental (UC), Huancayo, Perú.

² Universidad Nacional Hermilio Valdizan (UNHEVAL), Huánuco, Perú.

³ Universidad Nacional del Callao (UNAC), Callao, Perú.

*Autor de Correspondencia: rdavila430@gmail.com



Introducción

Por las particularidades de los hospitales, su entorno contiene un gran número de microorganismos (Zemouri *et al.*, 2017), proporcionando condiciones muy favorables para la reproducción y la propagación de microorganismos patógenos (Butt *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2018). Por otro lado, como un sitio importante del uso de antibióticos, las infecciones asociadas a hospitales y la resistencia a los antimicrobianos promueven mutuamente la formación de un círculo vicioso (Revelas, 2012; Cassini *et al.*, 2019). Existen fuertes evidencias de que la transmisión por aire y aerosoles de los microorganismos patógenos están muy extendidos en los entornos hospitalarios (Wang *et al.*, 2021). Aunado a lo anterior, varios factores meteorológicos influyen en la supervivencia y propagación de las enfermedades nosocomiales. Patógenos ambientales, encontrados en la filtración y recirculación inadecuada del sistema de aireación de los hospitales, pueden exacerbar la propagación del virus en salas y otros espacios contiguos como los pasillos o habitaciones de los pacientes (Mousavi *et al.*, 2021). La alta humedad relativa puede alargar el tiempo de supervivencia de nuevos virus, como los coronavirus, en el aire (Mohammadi *et al.*, 2022). Asimismo, el aumento de la temperatura facilita la multiplicación de los microorganismos en el entorno de las salas hospitalarias (Limaylla *et al.*, 2019), y los pacientes y el personal médico actúan como vectores de infección entre las instituciones médicas (Drohan *et al.*, 2019). Esto significa que, sin protección, la población nosocomial está constantemente expuesta a riesgos de infección múltiple (Schwierzeck *et al.*, 2021).

En ese sentido, las partículas transportadas por el aire se caracterizan por su baja densidad, invisibilidad y susceptibilidad a la turbulencia. El asentamiento de partículas infecciosas en el aire sobre la herida de un paciente puede causar infecciones en cirugía o en caso más graves, infectar a pacientes con sistemas inmunológicos comprometidos. Por ejemplo, los estafilococos coagulasa negativos (CoNS), que residen en la piel humana (Pinzón *et al.*, 2021), son los más frecuentes, así como *Mycobacterium chimaera* del escape de las unidades de calor-enfriador (HCU) (Barnes *et al.*, 2018). *Staphylococcus aureus*, que se encuentra comúnmente en el ser humano piel, axila, ingle y nariz (Gamblin *et al.*, 2013), generalmente se considera la causa más común de infecciones en los quirófanos y habitaciones de pacientes (Sadriazadeh *et al.*, 2015; Mellinshoff *et al.*, 2018). En ciertos casos, se ha informado que las unidades formadoras de colonias (CFU) de CoNS ≥ 103 puede causar infecciones del torrente sanguíneo relacionadas con el catéter (CRBSI) (Goldman *et al.*, 2015; Chand *et al.*, 2017; Hebeisen *et al.*, 2019). En una investigación aerobiológica realizada al manipular el proceso de circulación de agua, se detectaron 10 UFC/m³ de bacterias en el aire cuando se cortó la circulación de agua. Una vez que se encendió la circulación de agua, el número de bacterias se disparó hasta 560 CFU/m³. *M. chimaera* fue detectada en ambas muestras: antes y después de la circulación del agua, lo que infirió que los pacientes podrían estar infectados por esta bacteria debido al aerosol contaminado del tanque de agua durante operaciones de bypass. Esta situación es aún más compleja para los pacientes inmunodeprimido, ya que su sistema de defensa está comprometido y tienen un mayor riesgo de contraer enfermedades infecciosas. En este grupo caen los pacientes con VIH, leucemia, trasplantes, anesplenia quirúrgica o de nacimiento y las inmunodeficiencias primarias. En este caso, los sistemas de ventilación deben ser acoplados a filtros de particulado de aire de alta eficiencia (HEPA) a fin de controlar a la aspergillosis invasora (B1), portadoras de neutropenia prolongada o inmunodeficiencia celular grave (Ávile, 2009). En el caso de pacientes infecciosos, la situación es contraria, no se debe permitir el flujo de aire de las habitaciones hacia el sistema central de aireación a fin de garantizar la salud de los otros pacientes en franca recuperación y al personal que labora en el hospital.

Para mejorar el estado de estas infecciones asociadas a los hospitales, los sistemas tradicionales se han centrado en estrategias para eliminar patógenos presentes en pacientes, superficies clínicas y trabajadores de la salud (Stawicki *et al.*, 2020), lo que ha impulsado la implementación de varios protocolos de control y desinfección de infecciones que también han tenido éxito en la reducción de la incidencia de este tipo de infecciones hospitalarias (Sharpe & Schmidt, 2011). Sin embargo, estudios recientes han demostrado que una proporción significativa de los contaminantes que causan infecciones a la población humana están en el aire (Kim *et al.*, 2018). Mejorar el gasto en atención de la salud y reducir la contaminación del aire hospitalario puede reducir efectivamente la tasa de mortalidad por microorganismos patógenos (Coccia, 2021). Las tecnologías de aire acondicionado mecánico y ventilación natural tienen un efecto positivo sobre la purificación del aire hospitalario (Masoumbeigi *et al.*, 2020). Por lo tanto, la aplicación de varios purificadores de aire tecnologías en los hospitales tienen buenas perspectivas. Algunos estudios han evaluado los filtros HEPA descubriendo que es posible reducir la concentración promedio de particulado de 2 micras en las habitaciones de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 9,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ reduciendo, así, la carga de medicamentos en niños asmáticos (Lee *et al.*, 2020). Más estudios han demostrado que algunas tecnologías de purificación de aire son efectivas para un determinado contaminante; por ejemplo, los purificadores HEPA redujeron la concentración de bacteriófagos phiX174 en aerosol por 99.9974–99.9999% (Zacharias *et al.*, 2021). Coronavirus se inactivaron en menos de 60 min en nanomateriales de latón que contenían al menos un 70 % de cobre (Weiss, *et al.*, 2020). Los filtros de aire visibles tienen efecto sobre ciertos contaminantes en el aire de las habitaciones, pero son desconocidos para las salas de hospital donde hay múltiples contaminantes. Se necesita una línea de investigación rigurosa y factible en el área de filtración y recirculación de aire en instalaciones sanitarias, asegurando la capacidad de responder a posibles nuevos brotes (Zhou *et al.*, 2022). En general un sistema de aire acondicionado/ventilación/calentamiento (HVAC) centralizado funciona de la siguiente manera: el aire exterior ingresa al sistema, donde la baja eficiencia y los filtros eliminan las partículas grandes y muchos microorganismos. El aire entra en el sistema de distribución para el acondicionamiento a niveles apropiados de temperatura y humedad, pasa a través de un banco adicional de filtros para limpieza posterior, y se entrega a cada zona del edificio. Después el aire acondicionado

se distribuye al espacio designado, se extrae a través de un sistema de conductos de retorno y es devuelto a la unidad HVAC. Una parte de este aire de retorno se expulsa al exterior mientras que el resto se mezcla con aire exterior para su dilución y se filtra para eliminar los contaminantes (Burroughs, 1997). El aire de los cuartos de baño u otras áreas contaminadas generalmente se descargan directamente a la atmósfera a través de un conducto separado del sistema de escape central. El aire de las habitaciones que albergan a los pacientes con tuberculosis u otras enfermedades infecciosas se extrae al exterior si es posible o pasan a través de un filtro antes de la recirculación o se aplica una presión de aire negativa a fin de que no pase al sistema de aireación del hospital. En algunos casos, se puede utilizar la irradiación germicida ultravioleta como medida adicional de limpieza del aire, pero no puede reemplazar la filtración HEPA (Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, 2003).

Tomando en cuenta lo anteriormente discutido, la meta de este trabajo es determinar la capacidad de control microbiano de los sistemas de ventilación en dos centros de asistencia médica del Perú en habitaciones con pacientes inmunosuprimidos (VIH/Sida) aislados o en habitaciones de pacientes infecciosos.

Materiales y métodos

Se evaluó el sistema de aireación con relación a la carga microbiana en dos centros de asistencia médica en habitaciones de pacientes inmunosuprimidos (VIH/Sida) y pacientes con enfermedades infecciosas.

Estimación de exigencias de ventilación en relación con el control de las infecciones de transmisión aérea

La tasa de ventilación mínima requerida se basó principalmente en dos elementos: el efecto de la tasa de renovación de aire sobre la disminución de la concentración de núcleos goticulares; y la ecuación de Wells–Riley para calcular el efecto de la tasa de ventilación sobre el riesgo de transmisión de enfermedades de transmisión aérea conocidas (Atkinson *et al.*, 2010). En la ecuación de Wells–Riley, la probabilidad de infección por los núcleos goticulares infecciosos es inversamente proporcional a la tasa de ventilación.

$$P = \frac{D}{S} = 1 - \exp\left(-\frac{I p q t}{Q}\right)$$

donde:

P = probabilidad de infección para las personas vulnerables

D = número de casos de enfermedad

S = número de personas vulnerables

I = número de personas infectantes

p = frecuencia respiratoria por persona (m³/s)

q = tasa de generación quanta por una persona infectada (quanta/s)

t = tiempo total de exposición (s)

Q = tasa de suministro de aire exterior (m³/s).

Las mediciones de temperatura y humedad relativa se realizaron con un termohigrómetro (marca Thermo, modelo TA 218), capaz de medir estas dos variables al mismo tiempo a través de un electrodo de aire.

Las muestras biológicas fueron tomadas en dos lugares específicos: junto a la puerta de la habitación y frente a la salida del aire acondicionado. Se muestrearon por triplicado un total de 19 habitaciones: 12 habitaciones con pacientes con enfermedades infecciosas, y 7 habitaciones con pacientes inmunosuprimidos (VIH/Sida). Inmediatamente, las muestras fueron analizadas para el recuento de bacterias y hongos en aire mediante el método de Impactación de Aire sobre medios de cultivo, empleando un muestreador BIOSAS Meter 100, siguiendo la metodología descrita por Hernandez, (1998) y Hernandez, (1999). Para ello, se impactaron 100 L de aire por área muestreada sobre placas con agar nutritivo (HIMEDIA) estériles para realizar el recuento bacteriano, y para hongos utilizando placas con agar Sabouraud (HIMEDIA) y cloranfenicol. Posteriormente se incubaron las placas de agar nutritivo a 37°C durante 48 horas, y las placas con agar Sabouraud con cloranfenicol a 25°C durante 120 horas. Usando un contador de colonias, se determinaron las Unidades Formadoras de Colonia por metro cúbico de aire (UFC/m³), siendo identificadas las bacterias por sus características macroscópicas del crecimiento de las colonias a través de la coloración Gram y pruebas bioquímicas manuales (Pérez *et al.*, 2010; Serra & Farril, 2012)

La caracterización microscópica para la identificación fúngica. se realizó con la preparación del hongo sobre un cubre- objeto y con la ayuda de colorantes como azul de metileno. Los valores de las UFC/m³ de aire, temperatura y humedad relativa se expresaron como media ± desviación estándar.

Resultados

En todas las habitaciones evaluadas (12 aislados infecciosos y 7 inmunodeprimidos), los parámetros de ventilación se mantuvieron de acuerdo a los parámetros internacionales de confort (Tabla 1) con el fin de asegurar la satisfacción de los pacientes y su seguridad, así como de su entorno.

Tabla 1. Condiciones de contorno cinemáticas de habitaciones de aislados e inmunodeprimidos

Parámetro	Inmunodeprimido	Infecciosos
Presión del sistema de aire	Positiva	Negativa
Etapas de filtrado de inyección	G4+F9 más filtro HEPA	G4+F9
Etapas de filtrado de extracción	G4+F9	G4+F9 más filtro HEPA
Temperatura °C	24 a 26	24 a 26
Humedad relativa %	45 a 55	45 a 55
Presión diferencial Pa	10 a 15 (Hacia exterior)	10 a 15 (Hacia interior)

Por otra parte, la estimación de exigencias de ventilación en relación con el control de las infecciones de transmisión aérea (Quanta/min.) se realizó cada 15 minutos (Figura 1), es decir, la disponibilidad de gotículas infecciosas suspendidas en el aire para aislados en presión positiva y negativa. Como se observa, hay incremento de la quanta los primeros 10 min, manteniéndose después de ese tiempo, se manifiesta un comportamiento estable; sin embargo, se debe considerar que la actividad generadora de gotículas siempre es continua.

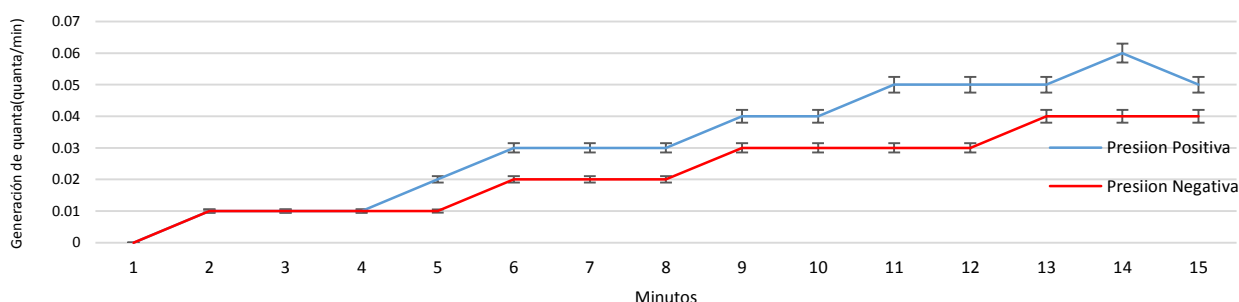


Figura 1. Generación de quanta(quanta/min) según la tasa de ventilación (cambios de aire por hora)

Los resultados de la Tabla 2, muestran las bacterias y hongos caracterizados en las habitaciones de los pacientes inmunosuprimidos e infecciosos. Tal como se puede ver, se determinaron igual número de especies de bacterias como de hongos. Por otra parte, el número de colonias, tanto de bacterias como de hongos, fue superior en las habitaciones de los pacientes inmunosuprimidos. Adicionalmente, y en todos los casos, se encontró un UFC superior a 10 en el total de habitaciones de pacientes inmunosuprimidos e infecciosos, siendo el conteo mayor de las especies bacterianas con relación a los hongos.

Tabla 2. Microorganismos aislados con mayor frecuencia en el aire de habitaciones de aislamiento según la tasa de ventilación (cambios de aire por hora)

Microorganismos	Especies	Habitaciones					
		Presión Positiva			Presión Negativa		
		Nº	%	UFC/m3	Nº	%	UFC
Bacterias	<i>Staphylococcus coagulasa negativos</i>	11	91,67		5	55,56	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	10	83,33	>60	4	44,44	
	<i>Bacillus spp.</i>	9	75,00		6	66,67	>48
	<i>Pseudomonas luteola</i>	10	83,33		4	44,44	
	<i>Aspergillus niger</i>	8	66,67		5	55,56	
Hongos	<i>Aspergillus terreus</i>	5	41,67		4	44,44	
	<i>Penicillium frequentans</i>	11	91,67	>45	3	33,33	>40
	<i>Cladosporium oxysporum</i>	8	66,67		4	44,44	

Discusión

Las infecciones adquiridas en hospitales (HAI) o nosocomiales se definen como infecciones ocurridas en pacientes durante un breve o largos periodo de estancias en un hospital (Wu *et al.*, 2020). En tal caso, los pacientes diagnosticados con un nuevo problema de salud causada por la infección necesitan extender su estadía en el hospital para recibir un nuevo tratamiento. El informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció que el 8,7% de los pacientes hospitalizados en 14 países contrajeron HAI (OMS, 2002). Pacientes infectados colocados junto a los miembros del personal y pacientes con diferentes los niveles de inmunidad aumentan el riesgo de contaminación microbiana en el aire y brotes de enfermedades dentro el hospital. Los estudios informaron que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus spp.*, *Kleb siella spp.*, *Bacillus spp.*, *Micrococcus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Enterococcus spp.* y *Enterobacteriaceae spp.* se encuentran comúnmente en el aire interior ambientes de hospitales (Shivani, 2020). Algunos estudios recientes han demostrado que hasta el 10-20% de todas las infecciones nosocomiales endémicas pueden ser transmitida a través de infecciones en el aire. Además, el 11% de todas las muertes en los países de bajos ingresos se deben a las infecciones en las vías respiratorias inferiores por la contaminación del aire interior (Gizaw *et al.*, 2016). Los edificios hospitalarios, como entornos dinámicos, pueden verse afectados por temporada, condiciones climáticas, diseño

y operación de interiores sistemas de ventilación, penetración de humedad, carga microbiana en al aire libre, y el número de residentes, visitantes y humanas actividades (Cabo Verde *et al.*, 2015). En este caso, los entornos hospitalarios requieren una atención especial para garantizar la salud de los interiores, calidad del aire (IAQ) para la protección de los pacientes y la asistencia sanitaria personal contra infecciones nosocomiales y enfermedades profesionales (El-Sharkawy & Noweir, 2014)

En ese sentido, los resultados de esta investigación mostraron que el cien por cien de las habitaciones evaluadas (12 aislados infecciosos y 7 inmunodeprimidos), los parámetros de ventilación se mantuvieron de acuerdo a los parámetros internacionales de confort (Tabla 1) con el fin de asegurar la satisfacción de los pacientes y su seguridad, así como de su entorno, sin embargo, el control de las infecciones de transmisión aérea (Quanta/min.), los cuales se relacionan con la disponibilidad de gotículas infecciosas suspendidas en el aire para los sistemas aislados en presión positiva y negativa, mantuvieron un incremento constante durante los primeros 10 minutos, luego, estos niveles se mantuvieron estables a pesar que la actividad generadora de gotículas era continua (Figura 1). Por otra parte, la caracterización de las bacterias y hongos determinadas en las habitaciones de pacientes inmunosuprimidos e infecciosos utilizando la UFC fueron siempre superiores a 10, lo cual supera los límites establecidos mundialmente. Cabe destacar que la presencia de bacterias y hongos como: *Staphylococcus coagulasa* negativos, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus* spp., *Pseudomonas luteola*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Penicillium frequentans* y *Cladosporium oxysporum*, compromete la salud de los pacientes infecciosos, y aún más, a los pacientes con un sistema inmune débil. Es bien conocido que a pesar de los avances significativos en la prevención, diagnóstico y tratamiento de la infección en el huésped inmunocomprometido sigue siendo una causa importante de morbilidad, aumento la duración de la estancia, aumento de los costes totales y, por supuesto, la mortalidad. La tasa mortalidad en unidades de cuidados intensivos son significativamente más altas entre los huéspedes inmunocomprometidos debido en parte a la mayor incidencia de la gravedad de la infección. La superposición de las defensas comprometidas del huésped y la enfermedad crítica hacen que la detección y el manejo de infecciones en tales pacientes más difíciles, pero cruciales para salvar al paciente (Acute Respiratory Distress Syndrome Network *et al.*, 2000; Linden, 2009).

Por otra parte, pacientes infectados colocados junto a los miembros del personal y pacientes con diferentes niveles de inmunidad aumentan el riesgo de contaminación microbiana en el aire y brotes de enfermedades dentro el hospital. Los estudios informaron que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus* spp., *Klebsiella* spp., *Bacillus* spp., *Micrococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Enterococcus* spp. y *Enterobacteriaceae* spp. se encuentran comúnmente en el medio ambiente interno de los hospitales (Shivani, 2020). Además, bacterias patógenas como *Mycobacterium tuberculosis*, *Legionella* spp. y *Acinetobacter* spp. han sido identificadas como responsables de la propagación de enfermedades como la tuberculosis, la neumonía y la legionelosis (Tang *et al.*, 2020).

En un estudio conducido en el Hospital Tohid, Sanandaj, Irán, se determinó el tipo y concentración de bacterias y bioaerosoles fúngicos y su distribución en el aire interno y externo del hospital universitario. Los resultados mostraron que las densidades más altas se encontraron en las salas de operaciones (15,25 UFC/m³). Las concentraciones de hongos más altas fueron: *Penicillium* (24,7%), *Cladosporium* (23,4%), *Aspergillus niger* (13,3%) y *Aspergillus Flavus* (11,4%). La concentración más alta de las bacterias aisladas fue *Staphylococcus hemolyticus* (31,84%). Por otra parte, el promedio general de contaminación del aire hospitalario por bioaerosoles fue ligeramente superior a los estándares propuestos por los organismos internacionales (Yousefzadeh *et al.*, 2022).

Por otra parte, para mantener un buen control de los microorganismos, es importante un buen sistema de ventilación. En quirófanos y habitaciones con pacientes inmunosuprimidos, de debe retener una presión positiva o más alta que los adyacentes, vecindad o entorno (Wenzel, 2010); esto asegura que el aire fluya desde ambiente más limpio. El aire debe fluir desde el techo y salir cerca al área del piso para promover el flujo laminar unidireccional de aire, por lo que la velocidad del flujo de aire debería estar 0,3 m/s y 0,5 m/s (Fu Shaw *et al.*, 2018). Por debajo, y con el flujo laminar unidireccional, los contaminantes transportados por el aire se ven obligados a atravesar el quirófano o las habitaciones, generando áreas ultralimpia (Jain & Reed, 2019). El sistema de ventilación del los quirófanos debe funcionar con 15 a 20 cambios de aire filtrado aire por hora, mientras que en las habitaciones deberán operar a tres cambios de aire filtrado por hora (Gormley, 2016). El uso de filtros HEPA es imprescindible dentro del sistema de ventilación como ya se ha explicado. En el caso de los pacientes infecciosos, el procedimiento, es mantener una presión negativa, con filtros HEPA, manteniendo conductos diferentes para expulsar, si el caso, el aire previamente filtrado de las habitaciones. En un trabajo recientemente publicado por Zhou *et al.*, (2022) concluyeron que los purificadores de aires son limitados, y se recomendaba el uso combinado de filtros con purificadores de iones de oxígeno positivos y negativos fuera del equilibrio (PNOI). La combinación de estos dos tipo de filtro logró la purificación de partículas de cigarrillos (PM), *Staphylococcus albicans* y el virus de la influenza en salas contaminadas lográndose la eliminación de un 98,44%, 99,75% y 100% respectivamente en 30 minutos.

Finalmente se recomienda la revisión del sistema de aireación, recambio y combinación de filtros para alcanzar los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud con respecto a la carga microbiana encontrada en salas de hospitalización de pacientes inmunodeprimidos e infecciosos es estos dos centros de salud del Estado Peruano.

Conflicto de intereses

No se reporta conflicto de intereses.

Agradecimientos

Manifestamos nuestra gratitud a todos los que posibilitaron esta investigación.

Referencias

- Acute Respiratory Distress Syndrome Network, Brower, R. G., Matthay, M. A., Morris, A., Schoenfeld, D., Thompson, B. T., & Wheeler, A. (2000). Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *The New England journal of medicine*, 342(18), 1301–1308. <https://doi.org/10.1056/NEJM200005043421801>
- Avilés, C. L. (2009). Manejo ambiental del inmunodeficiente. *Medwave*, 4(5), 3917. <http://doi.org/10.5867/medwave.2009.05.3917>
- Barnes, S., Twomey, C., Carrico, R., Murphy, C., & Warye, K. (2018). OR Air Quality: Is It Time to Consider Adjunctive Air Cleaning Technology?: 1.3. *AORN journal*, 108(5), 503–515. <https://doi.org/10.1002/aorn.12391>
- Burroughs, H. E. B. (1997). Sick building syndrome: fact, fiction, or facility? In: Hansen W, ed. *A guide to managing indoor air quality in health care organizations*. Oakbrook Terrace, IL: Joint Commission on Accreditation of Health Care Organizations, 3–13. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf (Acceso octubre 2021)
- Butt, I. A., Aslam, B., Rasool, M. H., Shafiq, H. B., Khurshid, M., & Aslam, M. A. (2016). Distribution of various pathogenic bacteria from pediatric ward settings. *Saudi medical journal*, 37(11), 1268–1271. <https://doi.org/10.15537/smj.2016.11.15236>
- Cabo Verde, S., Almeida, S. M., Matos, J., Guerreiro, D., Meneses, M., Faria, T., Botelho, D., Santos, M., & Viegas, C. (2015). Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. *Research in microbiology*, 166(7), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.03.004>
- Cassini, A., Högberg, L. D., Plachouras, D., Quattrocchi, A., Hoxha, A., Simonsen, G. S., Colomb-Cotinat, M., Kretzschmar, M. E., Devleeschauwer, B., Cecchini, M., Ouakrim, D. A., Oliveira, T. C., Struelens, M. J., Suetens, C., Monnet, D. L., & Burden of AMR Collaborative Group (2019). Attributable deaths and disability-adjusted life-years caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: a population-level modelling analysis. *The Lancet. Infectious diseases*, 19(1), 56–66. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30605-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30605-4)
- Chand, M., Lamagni, T., Kranzer, K., Hedge, J., Moore, G., Parks, S., Collins, S., Del Ojo Elias, C., Ahmed, N., Brown, T., Smith, E. G., Hoffman, P., Kirwan, P., Mason, B., Smith-Palmer, A., Veal, P., Lalor, M. K., Bennett, A., Walker, J., Yeap, A., & Phin, N. (2017). Insidious Risk of Severe *Mycobacterium chimaera* Infection in Cardiac Surgery Patients. *Clinical infectious diseases*, 64(3), 335–342. <https://doi.org/10.1093/cid/ciw754>
- Coccia, M. (2021). High health expenditures and low exposure of population to air pollution as critical factors that can reduce fatality rate in COVID-19 pandemic crisis: a global analysis. *Environmental research*, 199, 111339. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111339>
- Drohan, S. E., Levin, S. A., Grenfell, B. T., & Laxminarayan, R. (2019). Incentivizing hospital infection control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(13), 6221–6225. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812231116>
- El-Sharkawy, M. F., & Noweir, M. E. (2014). Indoor air quality levels in a University Hospital in the Eastern Province of Saudi Arabia. *Journal of family & community medicine*, 21(1), 39–47. <https://doi.org/10.4103/2230-8229.128778>
- Fu Shaw, L., Chen, I. H., Chen, C. S., Wu, H. H., Lai, L. S., Chen, Y. Y., & Wang, F. (2018). Factors influencing microbial colonies in the air of operating rooms. *BMC infectious diseases*, 18(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2928-1>
- Gamblin, J., Jefferies, J. M., Harris, S., Ahmad, N., Marsh, P., Faust, S. N., Fraser, S., Moore, M., Roderick, P., Blair, I., & Clarke, S. C. (2013). Nasal self-swabbing for estimating the prevalence of *Staphylococcus aureus* in the community. *Journal of medical microbiology*, 62(Pt 3), 437–440. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.051854-0>
- Gizaw, Z., Gebrehiwot, M., & Yenew, C. (2016). High bacterial load of indoor air in hospital wards: the case of University of Gondar teaching hospital, Northwest Ethiopia. *Multidisciplinary respiratory medicine*, 11, 24. <https://doi.org/10.1186/s40248-016-0061-4>

- Goldman, E., & Green, L. H. (2015). Practical Handbook of Microbiology, CRC pressUP. <https://doi.org/10.1201/b17871>
- Gormley, T. C. (2016). Assessment of the Environmental and Economic Impact of Air Changes in a Hospital Operating Room, 2016. Disponible en: <https://etd.library.vanderbilt.edu/etd-11102016-154455> (Acceso enero 2022).
- Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. (2003). Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Disponible en: https://www.medbridgeeducation.com/1/infection-control/?utm_campaign=B2B-Infection+Control--Google+Ad&utm_source=Google+Ad&utm_medium=cpc&mbt_adcid=7011K000001kOpMQAU&mbt_mbcid=7011K000001kOpMQAU&mbt_adgroup=14145123247&mbt_adgid=122540343021&mbt_matchtype=p&mbt_searchquery=infection%20control&campaign=14145123247&content=549515206946&keyword=infection%20control&gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwApUpZjMZUtOV6l_FKnTFv6-SuRlNGi3R1yGRiU1lPMNqTicM0R1U5Be6yhoCQzYQAvD_BwE (Acceso enero 2022).
- Hebeisen, U. P., Atkinson, A., Marschall, J., & Buetti, N. (2019). Catheter-related bloodstream infections with coagulase-negative staphylococci: are antibiotics necessary if the catheter is removed?. Antimicrobial resistance and infection control, 8, 21. <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0474-x>
- Jain, S., & Reed, M. (2019). Laminar Air Flow Handling Systems in the Operating Room. Surgical infections, 20(2), 151–158. <https://doi.org/10.1089/sur.2018.258>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2018). Airborne bioaerosols and their impact on human health. Journal of environmental sciences (China), 67, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.027>
- Lee, G. H., Kim, J. H., Kim, S., Lee, S., & Lim, D. H. (2020). Effects of Indoor Air Purifiers on Children with Asthma. Yonsei medical journal, 61(4), 310–316. <https://doi.org/10.3349/ymj.2020.61.4.310>
- Limaylla, D. C., Silva, M. O., & Fortaleza, C. (2019). Temperature, humidity, and climate control in hospital units: A clue for understanding the seasonality of healthcare-associated pathogens. Infection control and hospital epidemiology, 40(7), 829–830. <https://doi.org/10.1017/ice.2019.97>
- Linden, P. K. (2009). Approach to the immunocompromised host with infection in the intensive care unit. Infectious disease clinics of North America, 23(3), 535–556. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2009.04.014>
- Masoumbeigi, H., Ghanizadeh, G., Yousefi Arfaei, R., Heydari, S., Goodarzi, H., Dorostkar Sari, R., & Tat, M. (2020). Investigation of hospital indoor air quality for the presence of SARS-Cov-2. Journal of environmental health science & engineering, 18(2), 1259–1263. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00543-3>
- Mellinghoff, S. C., Vehreschild, J. J., Liss, B. J., & Cornely, O. A. (2018). Epidemiology of Surgical Site Infections With Staphylococcus aureus in Europe: Protocol for a Retrospective, Multicenter Study. JMIR research protocols, 7(3), e63. <https://doi.org/10.2196/resprot.8177>
- Mohammadi, A., Soleimani, A., Abdolajnejad, A., Ahmed, M., Akther, T., Nemati-Mansour, S., Raeghi, S., Rashedi, G. H., & Miri, M. (2022). SARS-CoV-2 detection in hospital indoor environments, NW Iran. Atmospheric pollution research, 13(8), 101511. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101511>
- Mousavi, E. S., Kananizadeh, N., Martinello, R. A., & Sherman, J. D. (2021). COVID-19 Outbreak and Hospital Air Quality: A Systematic Review of Evidence on Air Filtration and Recirculation. Environmental science & technology, 55(7), 4134–4147. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03247>
- OMS. (2002). The World Health Report 2002. Disponible en: [https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=ePuQi1PtY_cC&oi=fnd&pg=PR9&dq=OMS+\(2002\)+The+World+Health+Report+2002.&ots=N4K5cRCbPi&sig=pd9Vu_bRMNQEUt2IHpHhJ6-a4Nk#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=ePuQi1PtY_cC&oi=fnd&pg=PR9&dq=OMS+(2002)+The+World+Health+Report+2002.&ots=N4K5cRCbPi&sig=pd9Vu_bRMNQEUt2IHpHhJ6-a4Nk#v=onepage&q&f=false) (Acceso enero 2022).
- Pérez, L., Zurita, I., Perez, N., Cabrera, N., & Calvimonte, O. (2010). Infecciones Intrahospitalarias: Agentes, Manejo Actual y Prevención. Revista Científica Ciencia Médica, 13(2), 90-94. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332010000200009 (Acceso enero 2022).
- Pizon, M. G., Baldo, R. R., Villarante, R. N., & Balatero, J. D. (2021). Path Analysis of Covid-19 with the Influence of Air Pressure, Air Temperature, and Relative Humidity, International Journal of Advanced Research, 8(4), 224-232. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/10771>
- Revelas A. (2012). Healthcare - associated infections: A public health problem. Nigerian medical journal, 53(2), 59–64. <https://doi.org/10.4103/0300-1652.103543>
- Sadrizadeh, S., & Holmberg, S. (2015). Effect of a portable ultra-clean exponential airflow unit on the particle distribution in an operating room, Particuology, 18, 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2014.06.002>

- Schwierzeck, V., König, J. C., Kühn, J., Mellmann, A., Correa-Martínez, C. L., Omran, H., Konrad, M., Kaiser, T., & Kampmeier, S. (2021). First Reported Nosocomial Outbreak of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in a Pediatric Dialysis Unit. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 72(2), 265–270. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa491>
- Serra, M., & O'Farril, R. (2014). La infección intrahospitalaria en el diagnóstico de salud del Hospital General Docente Enrique Cabrera. 2012. La Habana. Cuba. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 13(2), 258-269. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v13n2/rhcm11214.pdf> (Acceso enero 2022)
- Sharpe, P. A., & Schmidt, M. G. (2011) Control and mitigation of healthcare-acquired infections: Designing clinical trials to evaluate new materials and technologies. *HERD*, 5, 94–115. <https://doi.org/10.1177/193758671100500109>
- Shivani, D. (2020). Isolation of micro-fora from hospital sites. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 9(8), 547–554. <https://doi.org/10.20959/wjpr20208-18125>
- Stawicki, S. P., Wolfe, S., Brisendine, C., Eid, S., Zangari, M., Ford, F., Snyder, B., Moyer, W., Levicoff, L., & Burfeind, W. R. (2020). The impact of comprehensive air purification on patient duration of stay, discharge outcomes, and health care economics: A retrospective cohort study. *Surgery*, 168(5), 968–974. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2020.07.021>
- Tang, W., Mao, Y., Li, Q. Y., Meng, D., Chen, L., Wang, H., Zhu, R., & Zhang, W. X. (2020). Prevalence of Opportunistic Pathogens and Diversity of Microbial Communities in the Water System of a Pulmonary Hospital. *Biomedical and environmental sciences*, 33(4), 248–259. <https://doi.org/10.3967/bes2020.034>
- Wang, C. C., Prather, K. A., Sznitman, J., Jimenez, J. L., Lakdawala, S. S., Tufekci, Z., & Marr, L. C. (2021). Airborne transmission of respiratory viruses. *Science (New York, N.Y.)*, 373(6558), eabd9149. <https://doi.org/10.1126/science.abd9149>
- Wang, J., Liu, F., Tartari, E., Huang, J., Harbarth, S., Pittet, D., & Zingg, W. (2018). The Prevalence of Healthcare-Associated Infections in Mainland China: A Systematic Review and Meta-analysis. *Infection control and hospital epidemiology*, 39(6), 701–709. <https://doi.org/10.1017/ice.2018.60>
- Weiss, C., Carriere, M., Fusco, L., Capua, I., Regla-Nava, J. A., Pasquali, M., Scott, J. A., Vitale, F., Unal, M. A., Mattevi, C., Bedognetti, D., Merkoçi, A., Tasciotti, E., Yilmazer, A., Gogotsi, Y., Stellacci, F., & Delogu, L. G. (2020). Toward Nanotechnology-Enabled Approaches against the COVID-19 Pandemic. *ACS nano*, 14(6), 6383–6406. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c03697>
- Wenzel, R. P. (2010). Minimizing surgical-site infections. *The New England journal of medicine*, 362(1), 75–77. <https://doi.org/10.1056/NEJMe0908753>
- Wu, B., Qi, C., Wang, L., Yang, W., Zhou, D., Wang, M., Dong, Y., Weng, H., Li, C., Hou, X., Long, X., Wang, H., & Chai, T. (2020). Detection of microbial aerosols in hospital wards and molecular identification and dissemination of drug resistance of *Escherichia coli*. *Environment international*, 137, 105479. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105479>
- Yousefzadeh, A., Maleki, A., Athar, S. D., Darvishi, E., Ahmadi, M., Mohammadi, E., Tang, V. T., Kalmarzi, R. N., & Kashefi, H. (2022). Evaluation of bio-aerosols type, density, and modeling of dispersion in inside and outside of different wards of educational hospital. *Environmental science and pollution research international*, 29(10), 14143–14157. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16733-x>
- Zacharias, N., Haag, A., Brang-Lamprecht, R., Gebel, J., Essert, S. M., Kistemann, T., Exner, M., Mutters, N. T., & Engelhart, S. (2021). Air filtration as a tool for the reduction of viral aerosols. *The Science of the total environment*, 772, 144956. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144956>
- Zemouri, C., de Soet, H., Crielaard, W., & Laheij, A. (2017). A scoping review on bio-aerosols in healthcare and the dental environment. *PloS one*, 12(5), e0178007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178007>
- Zhou, B., Liu, T., Yi, S., Huang, Y., Guo, Y., Huang, S., Zhou, C., Zhou, R., & Cao, H. (2022). Reducing the Effectiveness of Ward Particulate Matter, Bacteria and Influenza Virus by Combining Two Complementary Air Purifiers. *International journal of environmental research and public health*, 19(16), 10446. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610446>