

CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AIRE AL INTERIOR Y EL SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO

AIR MICROBIOLOGICAL POLLUTION INDOOR AND THE SICK BUILDING SYNDROME

*María Ángela Daza Pérez¹, Diana Ximena Martínez Benavides²,
Paola Andrea Caro Hernández³*

RESUMEN

Microorganismos como hongos y bacterias y las partículas biológicas que generan están involucrados en la contaminación al interior de edificaciones, causando deterioro en las infraestructuras y en algunos casos, problemas de salud. Tales microorganismos pueden estar presentes tanto en edificios enfermos como en sanos. Varios son los estudios que se han realizado para evaluar la calidad microbiológica del aire al interior y aún no es claro si existe una relación directa de la presencia de microorganismos en el aire y síntomas como los presentes en el síndrome del edificio enfermo. Sin embargo, los resultados de estos estudios claramente indican que es necesario evaluar la calidad del aire en las edificaciones, especialmente las públicas.

Este artículo introduce los aspectos generales de la contaminación microbiana al interior de edificaciones y busca dar una perspectiva de la influencia potencial que ejercen los microorganismos como agentes etiológicos de enfermedades de tipo respiratorio y alergias.

Palabras clave: Síndrome del edificio enfermo, Calidad del aire al interior, Contaminación microbiana.

ABSTRACT

Microorganisms such as fungi and bacteria and biological particles generated are involved in pollution inside buildings, causing deterioration in the buildings infrastructure, and in some cases health problems. Microorganisms may be present in both, sick and healthy buildings. There are several studies conducted to assess the microbiological quality of air inside, and still it is unclear, if there is a direct implication between the presence of microorganisms in the air and symptoms presented in the sick building syndrome. However, the results of these studies clearly indicate that it is necessary to assess air quality inside buildings, especially public buildings.

This article introduces the general aspects of the microbial pollution inside buildings and aims to give an overview of the potential influence that have these microorganisms as etiological agents of respiratory diseases and allergies.

Keywords: Sick building syndrome, Interior air quality, Microbial contamination.

Recibido: Junio 17 de 2015

Aceptado: Julio 24 de 2015

-
1. Ecóloga, Estudiante de la Maestría en Salud Ocupacional, Universidad Libre Seccional Cali.
 2. Enfermera, Estudiante de la Maestría en Salud Ocupacional, Universidad Libre Seccional Cali.
 3. Microbióloga Industrial, PhD. Docente Titular, Facultad de Salud, Universidad Libre Seccional Cali, paitocar@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Actualmente los problemas de salud debido a un ambiente laboral inadecuado aumentan y por tanto el ausentismo en el trabajo. Gran cantidad de estos problemas son atribuidos a la contaminación medioambiental (1). Un claro ejemplo es el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), conocido como un conjunto de síntomas diversos de origen multifactorial y de relación temporal positiva, experimentados por más de un 20 % de los ocupantes de edificios no industriales, que mejoran e incluso pueden llegar a desaparecer cuando el afectado deja el edificio (2).

A pesar de que este síndrome se ha conocido durante décadas y de que la OMS estimó en 1984 que más del 30 % de edificios presentaban este problema, oficialmente son pocos los estudios documentados y las estadísticas mundiales son limitadas a países desarrollados (3). Aunque su carácter es multifactorial, existe evidencia de que la contaminación biológica puede influir en su presencia. Sin embargo, los estudios respecto al tema en países desarrollados no son concluyentes y en países en vía de desarrollo, donde las condiciones ambientales para el crecimiento de agentes biológicos potencialmente patógenos son propicias, existen pocos estudios. Se plantea entonces como un desafío y a su vez como una necesidad, realizar ensayos en la aplicación de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo biológico determinantes en la aparición del SEE, así como también, la formulación de planes de monitoreo y capacitación que permitan la prevención de este síndrome en las áreas de trabajo. Esto, no solo conduciría al mejoramiento del entorno laboral, sino, a la disminución del ausentismo en el trabajo.

CONTAMINACIÓN DEL AIRE INTERIOR

Desde los años 80, la preocupación de la comunidad científica sobre los efectos en la salud provocados por la calidad del aire al interior de los edificios aumenta. Informes respecto a problemas de salud tales como cefaleas, irritación de las mucosas, sensación de cansancio e incluso problemas de claustrofobia en trabajadores que se encuentran en espacios confinados confirman el problema. Al parecer, estos síntomas tienen relación con el clima generado al interior de los inmuebles. Por ejemplo, la humedad relativa superior al 60 % puede influir en la calidad del aire y de esta manera aumentar la presencia de síntomas oculares y respiratorios, los cuales pueden agravarse durante la jornada de trabajo (4).

Se cree que el problema es reciente, con el tiempo los cambios en los diseños de los edificios ideados para mejorar la eficiencia energética han hecho que los hogares y las oficinas sean cada vez más herméticos. Los avances tecnológicos en construcción han llevado al empleo, en mayor cantidad, de materiales de construcción sintéticos, contribuyendo a ofrecer espacios cómodos a un menor costo. Sin embargo, han propiciado que los ambientes interiores alojen fácilmente contaminantes, como compuestos orgánico-volátiles (COV) provenientes de diferentes fuentes, entre las que se destacan: la calefacción, los microorganismos, e incluso los mismos materiales de construcción (pinturas, barnices, disolventes y conservantes) (5). Un estudio realizado en el 2007, demostró que los tableros de yeso, tradicionalmente instalados al interior de edificios, emiten mayor concentración y cantidad de sustancias químicas nocivas (acetona, nonanal y formaldehído) que otros materiales alternativos, demostrando así que sus materiales de construc-

ción inciden directamente en la calidad del aire a su interior (6) y aumentan el riesgo, cuando se presenta el deterioro de sus estructuras dejando al descubierto materiales tóxicos como el asbesto.

CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AIRE AL INTERIOR

Uno de los mayores problemas del aire al interior es la carga de partículas biológicas como: hongos, bacterias, esporas, toxinas, virus, entre otras. Los bio-aerosoles o partículas biológicas en suspensión usan el aire como medio de transporte y dispersión, llegando de esta manera a las personas que respiran un promedio de 14 m³ de aire por día (7). Recientemente se ha incrementado el interés por la evaluación de la calidad microbiológica del aire al interior de las edificaciones, entre otras razones, porque los microorganismos además de contribuir al deterioro de infraestructuras y materiales, son agentes etiológicos productores de toxinas y sustancias volátiles, que en ocasiones causan enfermedades respiratorias, sistémicas y alergias (8-9). Actividades antropocéntricas como hablar, estornudar, caminar, peinarse, entre otras, al parecer son el principal factor de dispersión de microorganismos, debido a que se crean aerosoles que facilitan su transporte. Elementos como alimentos, plantas, flores, polvo, textiles, cortinas, alfombras, mobiliario en mal estado, sobre todo de madera, promueven la contaminación biológica del aire (7). La humedad al interior, ya sea en el aire o en paredes y techos, es un factor que promueve la germinación de esporas y el albergue de hongos como *Penicillium* y *Aspergillus* (10).

A pesar de que los seres humanos están constantemente expuestos a los mohos, por lo general sin sufrir daño a la salud, en algunos casos, cuando se

trata de personas sensibles o alérgicas, la inhalación de un número suficiente de esporas de moho puede desencadenar síntomas como sequedad y escozor en ojos, nariz y garganta, piel seca, cefalea y letargo; y así producir ciertas enfermedades como asma, rinitis o bronquitis (11). La contaminación aérea por microorganismos ha sido relacionada con el SEE; es poca la evidencia que existe al respecto, por lo que aún no se ha confirmado si la influencia de este factor es significativamente negativa en la salud de los ocupantes de las edificaciones (11). Sin embargo, en el 2009 la OMS en una publicación de revisión, que incluía numerosos estudios epidemiológicos demostró que existe suficiente evidencia entre los factores relacionados a los daños en edificaciones ocasionados por la humedad y la amplia gama de efectos sobre la salud respiratoria, que incluye, afecciones como asma, infecciones, síntomas en el tracto respiratorio superior, entre otras (12).

En ambientes laborales, el problema podría ser mayor debido a los factores del entorno propios del sitio de trabajo, tales como niveles elevados de polvo, uso excesivo de computadores, altas temperaturas, poca o ninguna ventilación de aire exterior, mala iluminación, falta o inadecuado mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado e insuficientes regímenes de limpieza; estos factores pueden afectar directamente la capacidad inmunológica de los trabajadores al ejercer un control sobre las amenazas del entorno en su sitio de trabajo (11).

Locaciones públicas como universidades, bibliotecas y hospitales, merecen especial atención. Rivera y cols, en el año 2009, realizaron el monitoreo bacteriológico al interior de un edificio universitario moderno, con aireación mecánica, de la ciudad de Puebla, México. Los investigadores aislaron bac-

terias potencialmente patógenas de los géneros *Proteus* (30,5 %), *Escherichia* (11 %) y *Enterococcus* (58,5 %), concluyendo que aunque las condiciones internas del edificio son satisfactorias, no se puede descartar la presencia de agentes etiológicos (13). Otro estudio realizado en edificaciones universitarias, pero esta vez de un edificio antiguo de la ciudad de Quito, Ecuador, evidenció que el desgaste de las estructuras y su falta de mantenimiento son factores importantes que promueven el desarrollo de hongos tales como *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp., *Rhizopus* spp., *Cephalosporium* spp. y *Aspergillus* spp. (14).

La contaminación al interior se ve influenciada por las actividades antropocéntricas, especialmente en edificaciones públicas. Los resultados de un estudio realizado en una universidad española, mostraron que los recuentos bacterianos eran mayores cuando se encontraba un mayor número de personas en el recinto. No fue el mismo caso para los hongos, ya que la concentración media disminuía ligeramente con la presencia de ocupantes. Además, se encontró mayor concentración de bacterias en ambientes interiores que en el exterior, confirmando estudios anteriores que aseguran, que contrario a lo que sucede en áreas abiertas, en ambientes interiores, la concentración de bacterias supera la carga fúngica. En cuanto bacterias aisladas con mayor frecuencia se identificaron los géneros: *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Neisseria*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas* y *Corynebacterium*; y entre los hongos, el género *Cladosporium* en mayor frecuencia, seguido de *Alternaria*, *Penicillium* y *Aspergillus* (15).

Los edificios con alto riesgo por contaminación microbiana son las bibliotecas y archivos, que albergan en su interior grandes cantidades de papel y mobiliario, por lo que se puede especular que

generalmente la población microbiana predominante es la fúngica. Sin embargo, un estudio realizado en el año 2014 por Borrego y cols, en seis depósitos del Archivo Nacional de Cuba demostró que la carga fúngica fue significativamente menor que la bacteriana. Dentro de las bacterias aisladas se encontraron *Staphylococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Corynebacterium* sp., *Bacillus polymyxa*, *Bacillus* sp., *Streptomyces* sp., *Serratia marcescens*, *Serratia* sp., *Enterobacter agglomerans*, *Enterobacter hafniae* y *Hafnia alvei*. Los géneros de hongos predominantes fueron *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*; se detectaron otros como *Curvularia*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Mucor* y *Chrysonilia*. Así mismo se observó que aunque algunos espacios cumplían con los estándares de temperatura y humedad relativa, y las condiciones de orden y aseo eran buenas, los valores excedían las referencias que sugieren que la concentración microbiana para que el ambiente sea considerado como no contaminado debe estar por debajo de 1000 UFC.m³ (16). Otro estudio realizado en el año 2012, en una biblioteca universitaria de la ciudad de Tunja, mostró por el contrario, una mayor diversidad de géneros fúngicos (34) que bacterianos (16). Dentro de los géneros fúngicos más frecuentes se encontraron: *Cladosporium*, *Paecilomyces* y *Penicillium*, y en cuanto a las bacterias, *Bacillus* y *Neisseria*, fueron los géneros más comunes, presentando todos estos un potencial riesgo para la salud de los trabajadores de la biblioteca evaluada (17).

Debido al impacto que puede causar el albergue de contaminantes biológicos en locaciones hospitalarias, cada vez son más los estudios al respecto. Sautour y cols en 2009, a partir de un estudio prospectivo de aislados fúngicos en interior y exterior de un hospital francés, durante las cuatro estaciones del año, demostraron que algunas de las infecciones intrahospitalarias eran causadas por especies

de *Aspergillus*, *Fusarium* y grupos de Mucorales. Encontraron, además, que en las unidades clínicas, *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. fueron los dos géneros predominantes, seguidos por *Bjerkandera adusta*, *Alternaria* y *Cladosporium*. Con el estudio se pudo concluir que aunque la concentración de hongos en muestras al aire libre fue menor en comparación con los de otras ciudades como Beijing, New Orleans y Louisiana, los géneros fúngicos aislados fueron similares; por ejemplo, *Cladosporium* fue siempre el género más frecuente, seguido de *Penicillium* y *Alternaria* (18). En Costa Rica, un estudio realizado por Caballero y Cartín, publicado en el año 2007, que incluía la bioprospección en dos centros hospitalarios y ocho centros veterinarios, mostró que aunque en estos espacios se encontraban elementos potenciales de contaminación, los recuentos microbianos eran aceptables. Sin embargo, se aislaron microorganismos potencialmente patógenos como: *Streptococcus* sp., *Corynebacterium* sp., *Basillus* sp., *Enterobacter agglomerans*, *Escherichia coli*; y en menor frecuencia hongos de los géneros *Penicillium* sp., *Hormodendrum* sp., *Aurebasidium* sp. y *Paecilomyces* sp. Así mismo, detectaron que la ropa hospitalaria, aun después de pasar por un proceso de desinfección y limpieza, presentaba recuentos de UFC críticos, especialmente de *Staphylococcus* sp. Estos resultados evidenciaron la insuficiencia en las prácticas de higiene, y la importancia de su evaluación y control, con el fin de evitar vectores de contaminación (19).

PATOLOGÍAS RELACIONADAS A LA CONTAMINACIÓN MICROBIANA DEL AIRE INTERIOR

El aire contiene partículas biológicas y microorganismos no patógenos frente a los cuales hemos desarrollado tolerancia. Sin embargo, el sistema

inmune se activa constantemente debido a la exposición a estas cargas y en ocasiones promueve el progreso de enfermedades, dando paso a las formas subaguda y crónica. Existe una gran variedad de enfermedades de etiología microbiana que no necesariamente se debe a la exposición a agentes patógenos reconocidos, sino a la exposición a cargas microbianas. Dentro de este contexto podemos encontrar la Micotoxicosis Pulmonaria (MP), la Neumonitis Hipersensible (NH), el Síndrome del Edificio Húmedo y Enfermedades Relacionadas (SEHER) y el SEE (20).

La MP es una enfermedad respiratoria febril aguda asociada a la exposición a altos niveles de cargas fúngicas. Aunque esta enfermedad es propia de ambientes agrícolas, trabajadores expuestos al manejo de materiales de origen orgánico pueden contraerla. No depende de la sensibilización inmunológica, puede originarse inmediatamente después de la exposición a la carga microbiana. El cuadro clínico es semejante al de la influenza, los individuos padecen fiebre y mialgias, ocasionalmente opresión de pecho, tos, dolor de cabeza, náuseas, irritación de los ojos, nariz y garganta. Los síntomas se manifiestan luego de 4 a 12 horas de la exposición. A diferencia de otras enfermedades debidas a la exposición a cargas microbianas, la MP decrece frente a la reexposición y toda la población expuesta padece de la afección (21).

La NH también conocida como alveolitis alérgica, se debe a la exposición a bacterias termófilas aerobias, mohos, productos bacterianos, amibas y algunos químicos. Puede presentarse por la combinación de varios microbios o la exposición a solo uno de ellos. El tamaño de las partículas microbianas facilita su albergue en los alveolos pulmonares; la enfermedad puede presentar la forma aguda, suba-

guda y crónica. Histológicamente se caracteriza por una inflamación temporal uniforme de la porción intersticial del tejido pulmonar. Exposiciones continuas causan la progresión de la enfermedad con un creciente deterioro de la función pulmonar y cambios en fibrocitos de los pulmones (22). El SEHER está asociado a la exposición prolongada a edificios dañados por el agua, por lo que podría también hacer parte del SEE en un ambiente laboral. La exposición recurrente del individuo al edificio húmedo, empeora los síntomas, sin embargo, solo una porción de la población expuesta los desarrolla. Los criterios en cuanto a la sintomatología del síndrome no se encuentran bien definidos, en general se incluyen síntomas como fiebre, mialgia, tos y dolores de cabeza (4). Cabe resaltar que en los Estados Unidos se ha estimado que el 21 % de los casos de asma ha sido atribuido a la permanencia en residencias con humedades y goteras, y la presencia de mohos (23-24).

Así mismo, una revisión reciente, realizada por Haleem Khan y Mohan Karuppaiyil en el 2012, en donde relacionan la contaminación interna del aire con síntomas respiratorios, evidencia cómo la sinusitis se presenta más en lugares contaminados por hongos y/o filtraciones del agua, mientras que la congestión nasal, picazón, ardor o irritación ocular se dan en mayor proporción en lugares con pisos de concreto húmedos (25). Así mismo mencionan, que el síndrome de hipersensibilidad está muy relacionado a las altas cargas fúngicas, siendo un problema común en trabajadores de construcción que manejan material contaminado con hongos. Otras enfermedades, como el lupus eritematoso sistémico, artritis reumatoide, espondilitis anquilosante, síndrome de Sjögren y la artritis psoriásica se encuentran en las personas que trabajan en edificios donde hay crecimiento microbiano (26).

Las enfermedades causadas por hongos presentes en el aire afectan principalmente los pulmones, pudiendo posteriormente afectar otros tejidos y causar una enfermedad sistémica; entre las más comunes están la neumonía causada por *Pneumocystis carinii*, reacciones de hipersensibilidad producidas por *Alternaria*, *Botrytis*, *Aspergillus*, *Puccinia*, *Penicillium*, *Serpula*, *Cladosporium* y *Mucor*; micosis sistémica provocada por *Cryptococcus neoformans*, *Blastomyces dermatitidis*, *Histoplasma capsulatum*, y *Aspergillus fumigatus*, y micotoxicosis causadas por *Aspergillus*, *Fusarium* y *Stachybotrys* (9). Las enfermedades respiratorias asociadas a la exposición a bio-aerosoles, más frecuentes, son las alérgicas, en especial el asma y la rinitis; siendo las esporas fúngicas de los géneros *Alternaria*, *Cladosporium*, *Botrytis*, *Epicoccum*, *Stemphylium* y *Torula*, así como los *Basidiomycetes* (*Ganoderma*, *Puccinia*, *Ustilago* y *Coprinus*) y los *Ascomycetes* (*Leptosphaeria*, *Chaetomium* y *Erysiphe*) las que causan dichas enfermedades (8).

Además, los hongos también producen enfermedades infecciosas, por ejemplo varias especies del género *Aspergillus* están asociadas con enfermedades como la Aspergilosis Pulmonar Cavitaria Crónica (APCC), el aspergiloma, la rinosinusitis, el aspergilomasinusial, queratitis fúngica, infecciones cutáneas, endocarditis y pericarditis, infección del sistema nervioso central e infección osteoarticular, entre otras (8).

La mayoría de las enfermedades bacterianas transmitidas por el aire son producidas por bacterias Gram positivas, que afectan el tracto respiratorio y de él pueden pasar al torrente sanguíneo y a otros órganos. Entre las más comunes están la amigdalitis, faringitis, bronquitis o escarlatina producidas por *Streptococcus pyogenes*; la difteria producida

por *Corynebacterium diphtheriae*; la neumonía clásica provocada por *Streptococcus pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* o *Klebsiella pneumoniae*; la neumonía atípica o bronquitis producida por *Mycoplasma pneumoniae*, *Chlamydomphila pneumoniae* o *Chlamydomphila psittaci*; la meningitis causada por *Neisseria meningitidis*; la meningitis, epiglotitis o neumonía producida por *Haemophilus influenzae*; la tosferina causada por *Bordetella pertussis*; la tuberculosis provocada por *Mycobacterium tuberculosis*; la legionelosis causada por *Legionella pneumophila*; la actinomicosis dada por *Actinomyces israelii*; la nocardiosis causada por *Nocardia asteroides*; la fiebre Q provocada por *Coxiella burnetii*; el carbunco pulmonar, por *Bacillus anthracis*; la peste por *Yersinia pestis* (9).

En general estas afecciones pueden evitarse manteniendo un control sobre la carga microbiana en la atmósfera al interior de las edificaciones. Al igual, que mediante el establecimiento de programas estrictos de limpieza y mantenimiento, que minimicen los focos de albergue de microorganismos y mantengan una humedad relativa por debajo de 60 %.

SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO

El SEE, denominado así por la Organización Mundial de la Salud en los años 80, se define como un conjunto de síntomas de etiología poco clara que presentan los individuos ocupantes de ciertos edificios (especialmente en oficinas y ambientes cerrados) y que desaparecen o mejoran dentro de las horas siguientes a la salida del edificio problema (11). Existe gran dificultad para determinar los factores causales que provocan este síndrome, debido a que los síntomas presentados por los ocupantes de un edificio enfermo pueden relacionarse con diversos factores medioambientales como agentes

químicos, físicos, biológicos e incluso psicosociales. A esto se suma el hecho, de que existe poca información, en nuestro país, sobre estudios realizados en el tema y no se cuenta con una legislación específica al respecto. En cuanto a la sintomatología, las afecciones respiratorias, son las manifestaciones más comunes de este síndrome, debido quizás, a que es la calidad del aire interior uno de los factores principales para que se produzca (2, 27).

La sintomatología asociada se puede agrupar de la siguiente forma:

- Síntomas irritativos oculares: lagrimeo, escozor, enrojecimiento.
- Vías respiratorias superiores: hiperemia e irritación de la mucosa respiratoria con congestión nasal, inflamación de garganta, afonía, hemorragia nasal, dolor de garganta, ronquera, sed.
- Pulmonares: opresión torácica, tos seca, sensación de ahogo; con menos frecuencia los trastornos respiratorios más o menos graves como asma y neumonitis.
- Cutáneos: enrojecimiento, resequedad de la piel, prurito general o localizado.
- Síntomas inespecíficos: cefalea, náuseas, mareos, dificultad de concentración, irritabilidad, somnolencia, letargo (27-28).

Además de presentarse una prevalencia elevada de los anteriores síntomas, para diagnosticar el síndrome del edificio enfermo, también se debe tener en cuenta la relación temporal en la aparición de los síntomas; es decir estos se deben manifestar después de que la persona ingrese a laborar y permanezca en el edificio, y mejorar o desaparecer durante los periodos en los cuales no se esté en el recinto, los fines de semana o vacaciones. Una excepción son los síntomas dermatológicos, los cuales pueden tomar varios días en desaparecer (28).

¿SON LOS HONGOS BUENOS BIOINDICADORES DEL SEE?

Se ha demostrado que en las edificaciones los hongos causan tres efectos principales: daños en la estructura del edificio, malos olores y efectos adversos en la salud de personas sensibles. Los mohos, son microorganismos capaces de degradar materiales como la celulosa, lignina, almidón, entre otros, y producir toxinas que afectan la salud. Los materiales porosos como tapices, alfombras, cartón y madera son susceptibles a contaminación y pueden albergar microorganismos por largos periodos de tiempo. La humedad relativa por encima del 60 % mantiene condiciones ideales para el crecimiento y desarrollo de microorganismos, especialmente la germinación de esporas fúngicas. Otras condiciones que pueden incrementar el crecimiento de mohos incluyen inadecuada ventilación, falta de mantenimiento, goteras y humedades, uso de calefacción y aires acondicionados con bajo mantenimiento (11).

Tanto en edificaciones “sanas”, como en edificios enfermos, se pueden encontrar hongos en su interior. En edificaciones sanas, donde la humedad relativa es baja, no se observa el crecimiento de hongos contaminantes o patógenos. El género *Cladosporium* puede aislarse en bajas proporciones aunque su presencia es mayor en el exterior. Por el contrario, en edificaciones “enfermas” con alta humedad, se promueve el crecimiento de hongos como *Penicillium* y *Aspergillus*, principalmente (10). De acuerdo a Cabral, en un estudio publicado en 2010, la intoxicación es probablemente debida a la exposición crónica a compuestos orgánicos volátiles y micotoxinas, producidas principalmente por especies de los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Stachybotrys*. Sin embargo, este autor pudo evi-

denciar en estudios anteriores, que los síntomas desaparecen y los recuentos fúngicos disminuyen significativamente cuando se hacen reparaciones locativas y mantenimiento frecuente a las edificaciones (10).

Como se mencionó anteriormente, las bibliotecas públicas son sensibles a contaminación microbiana, en estas se puede encontrar una gran variedad de géneros tanto fúngicos como bacterianos (17). En el año 2003, Bueno, Silva y Oliver publicaron una investigación sobre hongos ambientales aislados en una biblioteca ubicada en la ciudad de Tucumán, Argentina. En el estudio se identificaron 33 géneros de hongos filamentosos, entre los cuales, algunos fueron reconocidos como agentes oportunistas (*Acremonium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp., *Drechslera* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Stemphylium* sp.). Dentro de los géneros aislados con mayor frecuencia se encontraron *Cladosporium* sp. (30 %), *Fusarium* sp. (8,6%), *Alternaria* sp. (8,4%), *Acremonium* sp. (6,4%) y *Aspergillus* sp. (5,5 %); siendo *Cladosporium* sp. aislado en todos los meses del año. Aunque el estudio no establece relación entre la presencia de hongos y síntomas en los ocupantes de la biblioteca; los autores consideran que provee de información útil sobre la presencia, diversidad y concentración de los hongos ambientales en el espacio evaluado (29).

En Colombia, son pocos los estudios reportados al respecto. Gómez y cols en 2005, realizaron un estudio cuyo objetivo era identificar alérgenos en el ambiente de cuatro bibliotecas de la ciudad de Bogotá, D.C. Los resultados mostraron como microbiota fúngica más frecuente, hongos del género *Cladosporium* sp., seguida de *Penicillium* sp. y solo en una de las bibliotecas evaluadas se presentó

Aspergillus sp. Además, se confirmó que la humedad y temperaturas elevadas se relacionan con la presencia de hongos en el interior (30). Resultados similares fueron hallados en el estudio realizado por Toloza y cols en 2012, en la biblioteca universitaria de la ciudad de Tunja, donde se aislaron con mayor frecuencia los géneros *Cladosporium* sp., y *Penicillium* (17). Sin embargo, los autores del primer estudio descartan que la carga fúngica esté relacionada a síntomas de alergias evidenciados en la población evaluada y se presume que las responsables son las proteínas de bajo peso molecular provenientes de ácaros (30). Así mismo, un estudio realizado en el año 2012, en una biblioteca universitaria de la ciudad de Maracaibo, Venezuela, en donde se aplicó a 12 trabajadores el cuestionario del SEE del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, mostró que todas las personas evaluadas presentaban síntomas asociados a su ámbito laboral. Dentro de los resultados se destaca con mayor incidencia los síntomas respiratorios, de garganta y cutáneos (92 %), seguidos de los oculares (83 %), nasales (75 %); luego síntomas dolorosos y los parecidos a la gripe (50 % y 41 % respectivamente) y en menor frecuencia los gastrointestinales. Además, se evidenciaron factores que contribuyen al SEE, como exceso de calor, humedad, falta de ventilación o estancamiento del aire, olores a moho, polvo y presencia de textos y alfombras viejas, entre otros. Dentro de los análisis micológicos realizados a los trabajadores se tomaron muestras de uñas y fosas nasales, y los resultados mostraron que todos presentaban hongos en al menos una muestra; el género aislado con mayor frecuencia fue *Aspergillus*. Los análisis ambientales evidenciaron grupos fúngicos en 7 de las 10 áreas muestreadas de la biblioteca, con mayor frecuencia se aislaron *Aspergillus niger*, seguido de *Micelias sterilia*, *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium* sp. y

Moniella sp. A pesar de los resultados en cuanto a microorganismos aislados, los autores no encontraron significancia estadística al relacionar las variables; y atribuyeron estos resultados al pequeño tamaño de la población encuestada. Por otro lado, con la realización del estudio se pudo comprobar la ausencia de un programa de aseo planificado y evaluado, con el que se pudiera minimizar el riesgo a la contaminación fúngica y evitar posiblemente síntomas relacionados al SEE (31).

Aunque los estudios no son concluyentes, en cuanto a la relación de la presencia de hongos y síntomas asociados al SEE, los resultados de estos estudios evidenciaron a ciertos géneros de hongos como constantes al interior de edificios públicos, siendo los más frecuentes *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* (8) (9) (10) (16) (30). La realización de análisis de control de calidad microbiológica del aire al interior de edificios públicos es imprescindible para mantener un control sobre el ambiente y las cargas biológicas a la que los trabajadores están expuestos diariamente. Además, los controles permiten el establecimiento de medidas preventivas; conociendo los recuentos fúngicos e identificando los géneros más frecuentes, se pueden establecer bioindicadores de la calidad del aire y de acuerdo a los resultados, establecer planes específicos para un correcto saneamiento de la atmósfera, que eviten el riesgo potencial de la contaminación aérea por microorganismos patógenos.

PERSPECTIVAS EN OTROS PAÍSES Y ESPECIFICACIONES

Hace varios años la OMS afirmaba que a nivel mundial, el 30 % de los edificios públicos nuevos y reformados estaban siendo afectados por el SEE, extendiendo el problema a los Estados Unidos y la

Unión Europea (32). Un estudio realizado en 46 edificios en Gran Bretaña, evidenció que el 29 % de los evaluados presentaban cinco o más síntomas asociados al síndrome. Asimismo, en los Estados Unidos se estimó que entre 800.000 y 1.200.000 de edificios comerciales presentaban problemas asociados al SEE, afectando entre 30 y 70 millones de ocupantes expuestos (32). Actualmente, las cifras con respecto a la presencia del síndrome son inciertas; cifras oficiales en América Latina aún se desconocen, aunque se han realizado estudios aislados en edificaciones públicas (14, 16, 19, 29, 30, 31). En estos países el problema aumenta, ya que no existen especificaciones respecto de los niveles y las cargas microbiológicas al interior de edificios no industrializados, a pesar de que la mayoría presenta condiciones atmosféricas y de temperatura ideales para el crecimiento de microorganismos.

Crook y Burton, en una revisión realizada en el 2010, mencionan que algunos países tienen guías de especificaciones en cuanto al número de microorganismos al interior de edificaciones no industriales, sin embargo, entre ellas presentan diferencias. En Suiza niveles mayores a 1000 UFC/m³ indican contaminación, en Europa las especificaciones establecen que 500 UFC/m³ representan un nivel intermedio, mientras que niveles mayores a 1000 UFC/m³ indican un alto nivel; además, indican que se deben tomar medidas correctivas cuando los recuentos de mohos son superiores a 500 UFC/m³ y cuando los ocupantes del edificio expongan quejas de salud como dolores de cabeza, fatiga y tos (11). Sin embargo, en edificios donde se han presentado quejas de salud los niveles pueden ser menores a 500 UFC/m³ o por el contrario en edificaciones sanas el recuento puede exceder este límite; por lo cual se expone que las concentraciones y tipo de moho puede variar dependiendo la ubicación geo-

gráfica, la estación del año, entre otros factores. Los autores, teniendo en cuenta esta información, aconsejan realizar controles microbiológicos del aire al interior simultáneamente en edificaciones enfermas y sanas de la misma región, con el fin de poder establecer especificaciones independientes de otros factores.

EVALUACIÓN, CONTROL Y MEDIDAS PARA EVITAR LOS CONTAMINANTES BIOLÓGICOS EN EDIFICACIONES

Diferentes investigadores en la aerobiología, han centrado sus estudios en establecer si existe una relación entre los hongos que habitan en interiores y los posibles efectos sobre la salud de las personas (9, 28, 30, 31, 33). Sin embargo, la mayoría afirma que la comprensión de este complejo problema se ha visto obstaculizada por la falta de protocolos estandarizados para llevar a cabo una medición del efecto de la contaminación microbiana del aire al interior de edificaciones y la salud de sus ocupantes; por tanto sin tales protocolos, es difícil comparar los resultados de los diferentes estudios.

Portnoy, Barnes y Kennedy en el 2004 afirman que primero se debe evaluar la hipótesis de la presencia de hongos en el área problema, antes de concluir que estos son la causa de los síntomas. Para ello es necesario realizar una bioprospección del aire al interior, lo que incluye medición de esporas, alérgenos, aislamiento e identificación de microbios generadores de compuestos orgánicos volátiles; así como también evaluar las condiciones ambientales que conduzcan a la contaminación por microorganismos (33). Si existe deterioro en las edificaciones, es importante medir su grado, y si albergan crecimiento de microorganismos identificar su potencial de patogenicidad. Para ello es necesario comenzar

con la estandarización de protocolos que permitan un diagnóstico de las cargas microbiológicas y partículas biológicas en suspensión al interior de las edificaciones, al igual que establecer especificaciones estandarizadas de su nivel permisible.

La Agencia Europea para la Seguridad y la Salud, en su informe del año 2007, sobre el observatorio de riesgo ocupacional, indica algunas medidas preventivas que se deben tener en cuenta, en edificios nuevos, para reducir el potencial de desarrollo de la contaminación por hongos. De estas podemos destacar las siguientes:

- Minimizar la exposición del material de construcción de interiores al aire libre y humedad.
- Monitorear y mantener la integridad de la construcción con cubiertas impermeables, observando que el material empleado esté limpio y seco.
- Rechazar el material que tenga indicios de humedad o presencia de moho.
- Reducir al mínimo la acumulación de humedad durante la construcción.
- Mantener equilibrados los sistemas de control térmico y humedad (34).

En el caso de edificios donde se sospecha la presencia de contaminantes biológicos que podrían afectar la salud, se recomienda realizar inspecciones periódicas que incluyan la revisión de la estructura y los sistemas de aireación, búsqueda de signos visibles de humedad, medición de temperatura y humedad relativa, ya que es importante mantener esta última por debajo del 60 %. Además, deben realizar muestreos microbiológicos del aire al interior y superficies, identificando los géneros más predominantes y su frecuencia, con el fin de detectar cambios inusuales de tales variables en el tiempo.

En caso de que se identifique contaminación o problemas de humedad, se deberá formular una estrategia para evitar la exposición de las personas que trabajan en el área y llevar a cabo una remediación. Con el fin de reducir al mínimo la contaminación en las áreas del problema durante la remediación, se deben cerrar los sistemas de ventilación, emplear ventilación con presión negativa, colocar cortinas de plástico en las entradas y salidas del área de trabajo y mantener limpias las vías. Los trabajadores deben usar mascarillas de protección, los materiales porosos afectados deben ser retirados, el crecimiento del moho se debe limpiar, y si es necesario, realizar un tratamiento con desinfectantes químicos (34).

CONCLUSIONES

Son diversos los factores que influyen en el albergue de contaminantes de tipo microbiano del aire al interior de edificaciones no industrializadas, la mayoría de ellos debido a actividades antropocéntricas, materiales de construcción, humedad relativa por encima del 60 % y carencia de programas planificados de evaluación y control de contaminantes. Actualmente, existe una creciente preocupación debido al aumento de alergias y enfermedades de tipo respiratorio en ambientes laborales. Sin embargo, no es claro el origen de estas afecciones y pese a que son varios los estudios que confirman cargas microbianas altas y la presencia de microorganismos potencialmente patógenos en el aire al interior de edificaciones públicas y no industrializadas, no se cuenta, en la mayoría de países, con especificaciones estandarizadas en cuanto a UFC/m³.

Los análisis rutinarios, teniendo en cuenta el recuento de hongos y bacterias mesófilas aerobias,

así como la búsqueda de bioindicadores potenciales como *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*, al interior de edificaciones públicas y no industrializadas, en diversas regiones geográficas y climáticas, podrían contribuir a la estandarización de especificaciones de la calidad del aire al interior, especialmente en países en vía de desarrollo. Así mismo, la evaluación de la presencia del SEE en edificaciones públicas como hospitales, universidades, bibliotecas y oficinas, contribuiría a disminuir el ausentismo laboral y a identificar variables relacionadas a la contaminación debida a microorganismos.

Por lo tanto, nos queda la tarea de estructurar programas de prevención, promoción y saneamiento integral, que incluyan inspecciones periódicas a estructuras, sistemas de aireación y ambientes exteriores, análisis microbiológico del aire al interior, identificando géneros frecuentes y la validación de instrumentos que nos permitan tener mayor evidencia científica con respecto a la influencia de factores microbiológicos y la presencia del SEE u otras afecciones asociadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ochmański W, Barabasz W. Microbiological threat from buildings and rooms and its influence on human health (sick building syndrome). *Przegl Lek.* 2000; 57(7-8):419-23.
- Raad JA. Síndrome del Edificio Enfermo. Quito: Ediciones CIESPAL; 1994.
- World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Publications, European Series; 2000.
- Wolkoff P, Kjærgaard S. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International.* 2007; 33(6):850-7.
- Jones, AP. Indoor air quality and health. *Air Pollution Science for the 21st Century.* Kidlington. Oxford: Elsevier Science. 2002; 57-115.
- Hernández Moreno S. Emisiones contaminantes de materiales de construcción en el interior de los edificios. *Ciencia Ergo Sum* 2007; 14(3).
- Hayleeyesus SF, Manaye AM. Microbial quality of indoor air in University Libraries. *Asian Pac J Trop Biomed.* 2014; 4(Suppl 1):S312-7.
- Ríos Yuil JM. La Aeromicrología y su importancia para la medicina. *Rev Méd Cient.* 2011; 24(2):28-42.
- De la Rosa MC, Mosso MA, Ullán C. El aire: hábitat y medio de transmisión. *Observatorio Medio Ambiental Universidad Complutense.* 2002; 5:375-402.
- Cabral João PS. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. *Science of The Total Environment;* 2010.
- Crook B, Burton N. Indoor moulds, Sick Building Syndrome and building related illness. *Fungal Biology Reviews.* 2010; 24(3):106-13.
- World Health Organization. Guidelines for indoor air quality: dampness and mould. WHO; 2009.
- Rivera Tapia JA, Sánchez Hernández JA, Ortiz Segura G, Barahona Argueta C. Monitoreo bacteriológico en el aire interior de un edificio. *Acta Cient Estud* 2009; 7(1):4-7.
- Granda E. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Evaluación del efecto de la presencia de hongos en la calidad del aire como causa del síndrome del edificio enfermo en las edificaciones antiguas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. [En línea]

- noviembre de 2011. [Citado el 10 de septiembre de 2014]. Disponible: <http://www.puce.edu.ec>.
15. Soto T, García Murcia RM, Franco A, Soler JV, Cansado J, Gacto M. Indoor airborne microbial load in a Spanish university. *Anales de Biología*. 2009; 31:109-15.
 16. Borrego Alonso S, Perdomo Amistad I. Caracterización de la microbiota aérea en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba. *Revista Iberoamericana de Micología*. 2014; 182-7.
 17. Toloza Moreno D, Lizarazo Forero L, Blanco Valbuena J. Concentración y composición microbiana en el ambiente de la biblioteca central Jorge Palacios Preciado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. *Actualidades Biológicas*; 2012.
 18. Sautour M, Sixt N, Dalle F, L'Ollivier C, Fouquet V, Calinon C. Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital. *Science of The Total Environment*; 2009.
 19. Caballero M, Cartín V. Calidad del aire en dos centros hospitalarios y ocho clínicas veterinarias en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*. 2007; 17-26.
 20. Henrik C, Wolff J. Innate Immunity and the pathogenicity of inhaled microbial particles. *International Journal of Biological Sciences*. 2011; 7(3):261-8.
 21. Weisenberg E. Lung-nontumor, Pneumococcosis, Pulmonary mycotoxicosis (organic dust syndrome). Massachusetts: PathologyOutlines.com, Inc; 2011.
 22. Cebollero P, Echechipía S, Echegoyen A, Lorente MP, Fanlo P. Neumonitis por hipersensibilidad (alveolitis alérgica extrínseca). *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 2005; 1137-6627.
 23. Fisk WJ, Lei Gómez Q, Mendell MJ. Meta-analyses of association of respiratory health effect with dampness and mold in homes. *Indoor Air*. 2007; 17:284-96.
 24. Pitkäranta M, Meklin T, Hyvärinen A, Nevalainen A, Paulin L, Auvinen P, et al. Molecular profiling of fungal communities in moisture damaged building before and after remediation - a comparison of culture-dependent and culture-independent methods. *BMC Microbiology*. 2011; 11:235.
 25. Khan H, Karuppayil M. Fungal pollution of indoor environments and its management. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2012; 19:405-26.
 26. Muise B, Chul Seo D, Earl Blair E, Applegate T. Mold spore penetration through wall service outlets: a pilot study. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010; 163(1-4): 95-104.
 27. Grau M, Fontenla JR, Pita D. Manifestaciones oculares en el síndrome del edificio enfermo. [En línea] 23 de septiembre de 2005. [Citado el 22 de octubre de 2014]. Disponible en: <http://www.jano.es/ficheros/sumarios/1/0/1577/49/1v0n1577a13079336pdf001.pdf>
 28. Boldú J, Pascal I. Enfermedades relacionadas con los edificios. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 2005; 117-21.
 29. Bueno D, Silva J, Oliver G. Hongos ambientales en una biblioteca: Un año de estudio. *Anales de documentación*. 2003; 27-34.
 30. Gómez A, Zarante I, Martínez JC, Valdivieso MA, Rubio LL, Tarazona GP, et al. Evaluación de alérgenos presentes en polvo y ambiente de algunas bibliotecas de Bogotá D.C. *Universitas Médica*. 2005; 13-20.

31. Del Valle Ferrer I. Asociación entre la flora fúngica de trabajadores y ambiente interno de una biblioteca universitaria. Sistema de publicación electrónica de tesis y disertaciones. [En línea] 2012. [Citado 11 dic 2014.]. Disponible en: http://tesis.luz.edu.ve/tde_busca/archivo.php?codArquivo=5993..
32. Rey Martínez FJ, Ceña Callejo R. Edificios saludables para trabajadores sanos: calidad de ambientes interiores. s.l.: Junta de Castilla y León. Consejería de Economía y Empleo; 2006.
33. Portnoy JM, Barnes CS, Kennedy K. Sampling for indoor fungi. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2004;189-98.
34. European Agency for Safety and Health at Work. European risk observatory report. UE: Copyright 1998-2014, European Agency for Safety and Health at Work; 2008.