

Del laboratorio al edificio: cómo la nanobiotecnología combate el síndrome del edificio enfermo

Susana De la Rosa García ¹ y Sergio Alberto Gómez Cornelio ^{1, 2 *}

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

² Universidad Politécnica del Centro

* Dirección para correspondencia: sagomezcornelio@gmail.com

¿Has escuchado hablar del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)? Si te imaginas un edificio con fiebre, te sorprenderá saber que no se refiere a eso. Este término no se refiere a su enfermedad, sino a la de las personas que lo habitan y que enferman de manera constante. ¿Qué lo causa? Principalmente, son las condiciones desfavorables en las que se encuentra el edificio laboral o habitacional. Un lugar con pocas ventanas o una mala ventilación es presa fácil para el crecimiento acelerado de diversos microorganismos como bacterias y microalgas, pero especialmente, hongos. Si a esto se le suman condiciones ambientales de alta humedad, los microorganismos aprovechan para formar biopelículas sobre los sustratos de construcción que, en muchos casos, se observan como manchas verdes oscuras o negras. Este fenómeno no solo se restringe a los edificios; también afecta a una amplia variedad de edificaciones, incluyendo escuelas, centros de trabajo, hospitales y viviendas.

¿Cuándo estamos ante un SEE? Esto ocurre cuando un grupo de personas que habita o frecuenta un inmueble presenta síntomas similares durante un período

prolongado (Arif *et al.*, 2016). La Organización Mundial de la Salud ha señalado que una proporción importante de edificios de oficinas puede presentar problemas de calidad del aire asociados al desarrollo de microorganismos como bacterias, hongos y microalgas. Algunas estimaciones sitúan esta cifra alrededor del 30 %, aunque puede variar ampliamente según el clima, la ventilación y el mantenimiento de los inmuebles (Heseltine y Rosen, 2009).

Los microorganismos que crecen en ambientes interiores húmedos de los edificios pueden tener efectos tanto sobre los materiales de construcción como sobre el ambiente interior. Por un lado, participan en el biodeterioro de materiales como pinturas, recubrimientos y superficies porosas. Por otro, su presencia en espacios habitados puede influir en la calidad del aire interior y asociarse a molestias o síntomas en los ocupantes.

Diversos estudios indican que una parte de los habitantes de estos edificios puede experimentar molestias o síntomas relacionados con estas condiciones, con rangos que suelen ubicarse entre el 10 % y el 30 % (Arif *et al.*, 2016), dependiendo del contexto y la población estudiada. Además, otros factores que agravan el SEE incluyen contaminantes químicos procedentes de materiales de construcción, mobiliario, equipos de oficina y aerosoles utilizados para el control de plagas.

Crecimiento de hongos en superficies construidas e impacto en la salud

En regiones tropicales, como el sureste de México, las condiciones de alta humedad, abundante precipitación pluvial y temperaturas elevadas favorecen el crecimiento de hongos sobre las superficies construidas. En Tabasco, la humedad relativa promedio supera el 80 %, propiciando un ambiente ideal para el desarrollo de una gran variedad de especies fúngicas, lo que provoca problemas de moho – nombre común que se da al crecimiento visible de hongos sobre superficies húmedas– en hogares y espacios de trabajo (Figura 1).



Figura 1. Hongos (moho) desarrollándose sobre superficies construidas.

Los hongos en los edificios no solo deterioran las estructuras, sino también representan un riesgo significativo para la salud de los ocupantes. Liberan una gran

cantidad de esporas que se mantienen suspendidas y se dispersan en el aire, pudiendo ser inhaladas por los ocupantes del edificio. Además, estos organismos producen compuestos orgánicos volátiles que pueden ser tóxicos cuando son inhalados (Crook y Burton, 2010).

Los síntomas del SEE pueden variar entre personas y suelen relacionarse con la exposición prolongada a ambientes interiores con humedad y crecimiento fúngico. Con frecuencia se presentan alergias, irritación de ojos y garganta, congestión nasal y problemas respiratorios como tos y asma. Algunas personas también reportan dolores de cabeza, fatiga o malestar general, síntomas que a menudo se confunden con padecimientos comunes. Aunque estos malestares no siempre son graves, pueden afectar la calidad de vida y el bienestar cotidiano de los ocupantes. En casos persistentes, pueden motivar a las personas a evitar o abandonar los espacios afectados, lo que también se refleja en ausentismo laboral y disminución de la productividad.

Impacto ambiental del sector de la construcción y economía circular para contrarrestar el SEE

El problema del SEE no solo tiene implicaciones en salud y conservación de los edificios, también plantea retos ambientales. Muchas de las soluciones tradicionales contra el moho implican remodelaciones frecuentes, uso de químicos o reemplazo de materiales, lo que incrementa el impacto ambiental del sector de la construcción.

La industria de la construcción figura entre las más contaminantes a nivel mundial y se le atribuye cerca del 8 % de las emisiones globales de CO₂. Tan solo la producción de una tonelada de cemento genera una tonelada de CO₂ (Wu *et al.*, 2024). Además, la fabricación de concreto, que incluye cemento, arena, grava y agua, incrementa significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. A esto se suman los residuos generados por las remodelaciones necesarias para combatir la humedad y el moho.

En este contexto, la economía circular propone reducir los residuos desde el diseño mismo de las construcciones y prolongar la vida útil de los materiales (Angrisano y Fabbrocino, 2023). Este enfoque promueve el uso de materiales obtenidos mediante procesos más respetuosos con el ambiente, lo que puede favorecer edificios más sostenibles y resilientes.

Posibles soluciones para contrarrestar el crecimiento fúngico en edificios

Para abordar el SEE, es necesario implementar soluciones integrales que mejoren la calidad del aire interior y prevengan el desarrollo de hongos. Algunas de estas soluciones incluyen la instalación de sistemas de ventilación adecuados y purificación de aire para garantizar una renovación constante del aire y una filtración adecuada que elimine compuestos volátiles y esporas fúngicas. Sin embargo, estas medidas suelen ser costosas para la mayoría de los hogares y requieren la intervención de especialistas para su instalación. El control de la humedad es

relevante para evitar el crecimiento de los hongos; no obstante, en un ambiente tropical, donde los niveles de humedad son muy altos, estos se propagan en los edificios por capilaridad desde el subsuelo. Por ello, es necesario adquirir equipos deshumidificadores y mejorar el aislamiento térmico para evitar la acumulación de humedad en las estructuras.

Otra estrategia para evitar el desarrollo de hongos es el mantenimiento regular de los edificios, mediante procesos de remodelación que, aunque generan una alta cantidad de desechos de construcción, son necesarios para mantener las estructuras en buen estado y representan una alta inversión. Por ello, el uso de materiales de construcción con propiedades antimicrobianas, y particularmente antifúngicas, es fundamental en esta región de México. Una forma de lograrlo es promover la incorporación de compuestos químicos que ofrezcan resistencia contra microorganismos en pinturas, revestimientos y otros materiales constructivos para prevenir el crecimiento de hongos y bacterias.

En este punto surge una pregunta clave: ¿cómo pasan estas soluciones del laboratorio a los espacios donde realmente vivimos y trabajamos? Muchas de las estrategias contra el moho nacen en estudios científicos controlados, pero su verdadero desafío es llegar a materiales, pinturas y recubrimientos que puedan usarse en edificios reales. Ese tránsito del experimento al muro de una casa o de una escuela es justamente donde la nanobiotecnología comienza a jugar un papel interesante.

La nanotecnología representa una solución innovadora y potente; sin embargo, muchos compuestos nanotecnológicos o sustancias antimicrobianas se obtienen mediante procesos de síntesis química que no son compatibles con el medio ambiente. Por ello, es necesario adoptar prácticas de diseño y construcción sostenibles que favorezcan el uso de materiales no tóxicos, obtenidos a través de sistemas biológicos. Un ejemplo destacado son las nanopartículas obtenidas a partir de plantas o microorganismos.

Biosíntesis de nanopartículas de Ag y ZnO para el control de microorganismos en superficies construidas

Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y de plata (Ag) han sido ampliamente investigadas por sus propiedades antimicrobianas. Estas nanopartículas no solo pueden prevenir la degradación de los materiales de construcción, sino que también ayudan a mitigar problemas de salud relacionados con el crecimiento de microorganismos. Además, su compatibilidad con los materiales de construcción mejora las propiedades superficiales del concreto (Reches, 2018). La actividad antimicrobiana de estos nanomateriales se logra a través de diversos mecanismos de acción, incluyendo la interacción directa con las células fúngicas o bacterianas y la generación de compuestos secundarios que causan daño celular.

La síntesis de nanopartículas de ZnO y Ag puede realizarse mediante métodos convencionales o ecológicos. Los métodos convencionales generalmente

implican el uso de solventes orgánicos y condiciones de alta presión y temperatura. En contraste, los métodos ecológicos emplean rutas biológicas mediadas por microorganismos o extractos de plantas (Figura 2). La utilización de extractos de plantas para la síntesis de nanopartículas es un enfoque sostenible que evita el uso de reactivos tóxicos para la formación de las nanopartículas.

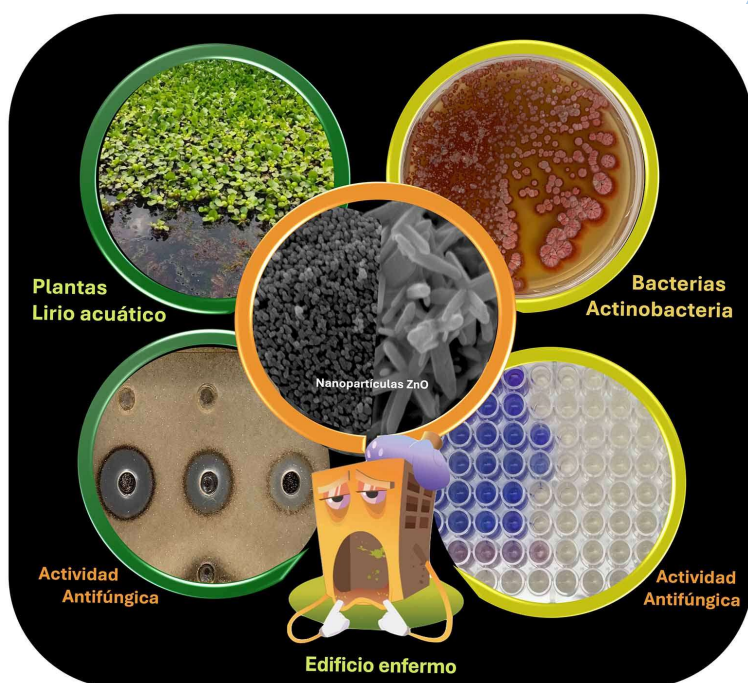


Figura 2. Nanobiopartículas obtenidas de plantas y actinobacterias para combatir los hongos en los edificios enfermos.

Las nanopartículas de plata (Ag), utilizadas durante siglos por sus propiedades antimicrobianas, son especialmente efectivas contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo microalgas, bacterias, hongos y virus. La síntesis de nanobiopartículas de plata implica el uso de extractos de plantas,

microorganismos o enzimas que facilitan la reducción de iones de plata a su forma nanoparticulada, sin la necesidad de químicos tóxicos.

Más allá del conocimiento general disponible sobre las nanobiopartículas, algunos estudios recientes han comenzado a evaluar su uso en contextos específicos. En particular, se han probado sobre superficies construidas como una estrategia para proteger muros, recubrimientos y materiales frente al crecimiento de hongos. En algunos estudios realizados en México, por ejemplo, se han evaluado nanopartículas de doble hidróxido de calcio y zinc ($\text{CaZn}_2(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), materiales de baja toxicidad que han sido probados en secciones de muros de monumentos arqueológicos en Chichén Itzá, como el Templo de los Guerreros y el Tzompantli, con el propósito de proteger el patrimonio cultural contra los microorganismos deteriorantes (De la Rosa-García *et al.*, 2024). Estas investigaciones forman parte de un esfuerzo más amplio por desarrollar nanomateriales obtenidos mediante rutas biológicas, es decir, utilizando plantas o microorganismos en lugar de procesos químicos agresivos. Este enfoque busca soluciones más compatibles con el ambiente y potencialmente más seguras para su uso en espacios habitados.

En superficies de edificios públicos y privados en el estado de Tabasco, se han identificado hongos de géneros principales como *Stachybotrys*, *Phoma*, *Aspergillus* y *Scolecobasidium*, que suelen crecer en ambientes húmedos y pueden afectar tanto a los materiales como a la calidad del aire interior. A partir de estos hallazgos, distintos estudios han explorado el uso de nanobiopartículas de óxido de zinc y plata obtenidas con ayuda de bacterias filamentosas (actinobacterias) y

extractos vegetales como el del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), una planta invasora en diversos cuerpos de agua de Tabasco. En pruebas de laboratorio, estas nanopartículas han mostrado capacidad para limitar el crecimiento de hongos. Es importante señalar que estos resultados provienen principalmente de estudios de laboratorio y pruebas controladas, por lo que su aplicación a gran escala en edificios habitados aún requiere evaluaciones adicionales.

Aunque todavía se trata de líneas de investigación en desarrollo, estos avances sugieren que, en el futuro, podrían diseñarse pinturas o recubrimientos con propiedades antifúngicas que ayuden a mantener espacios interiores más saludables. La idea es sencilla: usar la ciencia a escala nanométrica para enfrentar problemas muy cotidianos, como el moho en casas, escuelas u oficinas.

Referencias

Angrisano M and Fabbrocino F (2023). The Relation between environmental risk analysis and the use of nanomaterials in the built environment sector: A circular economy perspective. *Recent Progress in Materials* 5:1-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.21926/rpm.2301005>.

Arif M, Katafygiotou M, Mazroei A *et al.* (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment* 5: 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.03.006>.

Crook B and Burton NC (2010). Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness. *Fungal Biology Reviews* 24:106-113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.05.001>.

De la Rosa-García S, Sierra-Fernández A, Solís CG *et al.* (2024). Fungal community dynamics on limestone at the Chichén Itzá archaeological site in México driven by protective treatments. *Science of the Total Environment*, 906, 167563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167563>.

Heseltine E and Rosen J (2009). WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. World Health Organization, Europe.

Reches Y (2018). Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. *Construction and Building Materials* 175:483-495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214>.

Wu S, Shao Z, Andrew RM, Bing L *et al.* (2024). Global CO₂ uptake by cement materials accounts 1930–2023. *Scientific Data* 11:1409. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04234-8>.

Manuscrito aceptado