

Sección Debate (*revista PH* 119, octubre 2026)

Debate 35: Patrimonio biocultural: ¿maraña conceptual o cambio de paradigma?

Textos provisionales

De biodeterioro a biorremediación: hacia un cambio de paradigma en la conservación de las fuentes ornamentales de la Alhambra y el Generalife

Isabel Calvo-Bayo | Graduada en Restauración y Conservación de Bienes Culturales

Fernando Bolívar-Galiano | Universidad de Granada

Las fuentes ornamentales y otros elementos acuáticos del patrimonio cultural son especialmente susceptibles al biodeterioro, ya que la presencia constante de agua favorece el desarrollo de comunidades microbianas. Entre ellas, las microalgas y cianobacterias destacan por su capacidad para colonizar superficies pétreas formando biopelículas y tapetes que pueden alterar su estética y propiedades estructurales (Bolívar-Galiano et ál. 2020; Peraza Zurita et ál. 2005)

En el Conjunto Monumental de la Alhambra y el Generalife (Granada, España) esta problemática resulta especialmente significativa por el papel central del agua en el arte nazarí, materializado en una amplia red de fuentes, albercas, canales, surtidores, acequias y estanques. Sin embargo, estas fuentes no son únicamente recipientes de agua insertos en un monumento, sino espacios acuáticos integrados en un entorno natural y paisajístico donde material pétreo, agua, vegetación y fauna mantienen interacciones continuas.

Los espacios naturales del monumento albergan una elevada diversidad vegetal, resultado de la introducción de especies de distintos lugares y periodos, con valores naturales, históricos y culturales. El bosque de la Alhambra constituye además el hábitat de numerosos mamíferos, aves, anfibios, reptiles e invertebrados, muchos de los cuales utilizan estos espacios acuáticos como refugio, lugar de reproducción o abastecimiento de agua (García Montes 1997; Alhambra y Generalife 2017). Las fuentes ornamentales constituyen así pequeños ecosistemas cuya conservación no puede aislarse de las dinámicas ecológicas del entorno. Su gestión plantea, por tanto, una cuestión de alcance biocultural: ¿es posible proteger el patrimonio acuático sin considerar las redes ecológicas en las que se integra?

Esta dimensión ecológica obliga a revisar los procedimientos empleados para controlar el sobrecrecimiento de organismos fotótrofos. Tradicionalmente, la limpieza de fuentes se ha basado en biocidas como compuestos de amonio cuaternario o cloro. Aunque permiten una rápida eliminación de la biomasa, su uso reiterado puede afectar a los materiales patrimoniales, la calidad del agua y los organismos no diana.

Como respuesta, en los últimos años ha cobrado protagonismo el estudio de biocidas de origen natural, como aceites esenciales y extractos vegetales (Fidanza y Caneva 2019). Aunque permiten reducir el empleo de formulaciones convencionales, su origen natural no garantiza su compatibilidad ambiental o patrimonial. Algunos compuestos son volátiles, pierden eficacia rápidamente o requieren concentraciones elevadas, mientras ciertas formulaciones pueden provocar variaciones cromáticas o dejar residuos sobre los materiales pétreos (Pinna 2025). El reto no consiste únicamente en sustituir un biocida químico por otro de origen natural, sino en transformar el modo en que se comprende y gestiona el sistema acuático.

Esta transformación puede reconocerse en el *Plan de naturalización de albercas y fuentes*, impulsado por el Patronato de la Alhambra y Generalife, basado en las lecciones de la propia naturaleza y en la exclusión de biocidas tradicionales. Entre sus actuaciones se encuentra la incorporación de vegetación acuática autóctona, algas oxigenantes, zooplankton, caracoles dulceacuícolas, lombrices, insectos depredadores, anfibios y reptiles, que participan en la transparencia del agua, el reciclaje de materia orgánica, el control de plagas y la estabilidad de las redes tróficas. Sin embargo, estos procedimientos resultan ineficaces frente al sobrecrecimiento de algunas cianobacterias y algas tóxicas, como *Microcystis aeruginosa* asociada a la mortandad de aves y mamíferos en parques y entornos naturales (Lanzarot Freudenthal 2008).

En este contexto se sitúa nuestra investigación, desarrollada desde el grupo HUM 1031, sobre bacterias autóctonas con capacidad alguicida para controlar microorganismos fotosintéticos en las fuentes ornamentales de la Alhambra y el Generalife (Calvo-Bayo, Bolívar-Galiano y Romero-Noguera 2025a). La hipótesis surgió de la observación de las

propias biopátinas desarrolladas en las fuentes, donde se identificaron zonas o halos en los que el crecimiento fotótrofo disminuía como consecuencia de la actividad de determinados microorganismos (Calvo-Bayo et ál. 2026).

A partir de esta observación, la microbiota deja de considerarse exclusivamente un agente de alteración para entenderse como un reservorio de oportunidades para la gestión ambiental y patrimonial, capaz de proporcionar estrategias de conservación basadas en las propias interacciones biológicas. Su aislamiento a partir del conjunto monumental ofrece además una ventaja inicial: se trata de microorganismos adaptados a las condiciones ambientales del lugar, como la composición del agua, la temperatura, los nutrientes y las comunidades con las que conviven.

El empleo de bacterias autóctonas con capacidad alguicida cuenta ya con precedentes en sistemas acuáticos naturales, especialmente en el control de Floraciones de Algas Nocivas (FAN), donde se han estudiado para inhibir el crecimiento fototrófico, mejorar la calidad y transparencia del agua y minimizar los efectos sobre organismos no diana, mostrando mayor compatibilidad ambiental que los biocidas convencionales. Sin embargo, su aplicación en contextos patrimoniales continúa prácticamente inexplorada (Caldeira 2021; Calvo-Bayo et ál. 2025b; Coyne, Wang y Johnson 2022). Este vacío ofrece la oportunidad de trasladar estas estrategias de biorremediación a las fuentes ornamentales mediante microorganismos autóctonos capaces de controlar el sobrecrecimiento algal y mejorar la calidad del agua de forma más respetuosa con el ecosistema asociado al patrimonio. Su incorporación podría constituir además una nueva línea dentro del *Plan de naturalización de albercas y fuentes* de la Alhambra, complementando las estrategias ya implantadas.

El aprovechamiento de microorganismos autóctonos cuenta, además, con antecedentes dentro de la conservación patrimonial. Por ejemplo, en tratamientos de bioconsolidación se han investigado bacterias capaces de inducir la precipitación de carbonato cálcico y contribuir a la cohesión de materiales pétreos mediante carbonatogénesis (Jroundi, Gonzalez-Muñoz y Rodriguez-Navarro 2021).

Estas experiencias apuntan hacia una transformación en la forma de conservar el patrimonio biocultural, desde estrategias orientadas a eliminar la vida asociada al patrimonio hacia modelos que buscan comprender y aprovechar sus interacciones biológicas. Este enfoque implica revisar políticas de intervención ampliamente consolidadas que, aunque eficaces frente al biodeterioro, hoy plantean problemas ambientales y de compatibilidad con los ecosistemas patrimoniales. Se abre así una nueva mirada hacia la conservación, en la que patrimonio natural y cultural confluyen en estrategias más sostenibles tanto para el medio ambiente como para los propios materiales patrimoniales.

Como señala Caldeira (2021), “los microorganismos son responsables del biodeterioro del patrimonio cultural, pero también pueden constituir una importante fuente de soluciones. Nos corresponde encontrar la manera de aprovecharlas”. Quizá el verdadero cambio de paradigma resida precisamente en dejar de entender naturaleza y cultura como realidades separadas y avanzar hacia una conservación que las integre dentro de un mismo patrimonio, gestionado a partir de las relaciones ecológicas que lo sostienen.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolívar-Galiano, F., Abad-Ruiz, C., Sánchez-Castillo, P., Toscano, M. y Romero-Noguera, J. (2020) Frequent Microalgae in the Fountains of the Alhambra and Generalife: Identification and Creation of a Culture Collection. *Applied Sciences* 10, 6603. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app10186603> [Consulta 08/08/2026]
- Caldeira, A.T. (2021) Green Mitigation Strategy for Cultural Heritage Using Bacterial Biocides (Cap. 6) En: Joseph, E. (ed.) *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*. Springer International Publishing, pp. 13-154. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-69411-1_6 [Consulta 08/08/2026]
- Calvo-Bayo, I., Bolívar-Galiano, F. y Romero-Noguera, J. (2025a) Algicidal Bacteria: A Sustainable Proposal to Control Microalgae in the Conservation and Restoration of Stone Cultural Heritage. *Sustainability* 17, 10610. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su172310610> [Consulta 08/08/2026]
- Calvo-Bayo, I., Fillet, S., Moreno-Garrido, I., Bolívar Galiano, F. y Romero-Noguera, J. (2025b) Aplicación de bacterias con capacidad alguicida para el control del crecimiento de microalgas en fuentes ornamentales: antecedentes y perspectivas de futuro. En: *La Ciencia y el Arte X: ciencias y tecnologías aplicadas a la conservación del patrimonio*. Madrid: Ministerio de Cultura, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Atención a la Ciudadanía Documentación y Publicaciones, pp. 336-352

- Calvo-Bayo, I., Fillet, S., Cuzman, O.A., Cuberos-Cáceres, L., González-del-Valle, M., Bolívar-Galiano, F. y Romero-Noguera, J. (2026) Exploring New Conservation Methods: Isolation and Characterization of Algicidal Bacteria from Ornamental Fountains in the Alhambra and Generalife (Granada, Spain). *Conservation* 6, 70. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/conservation6020070> [Consulta 08/08/2026]
- Coyne, K.J., Wang, Y. y Johnson, G. (2022) Algicidal Bacteria: A Review of Current Knowledge and Applications to Control Harmful Algal Blooms. *Frontiers in Microbiology*, 13, 871177. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.871177> [Consulta 10/08/2026]
- Fidanza, M.R. y Caneva, G. (2019) Natural biocides for the conservation of stone cultural heritage: A review. *Journal of Cultural Heritage* 38, pp. 271-286. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.01.005> [Consulta 10/08/2026]
- García Montes, J.M. (1997) *Flora ornamental de la Alhambra y el Generalife*. Tesis doctoral. Universidad de Granada
- Jroundi, F., Gonzalez-Muñoz, M.T. y Rodriguez-Navarro, C. (2021) Protection and Consolidation of Stone Heritage by Bacterial Carbonatogenesis (Cap. 13). En: Joseph, E. (ed.) *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*. Springer International Publishing, pp. 281-299. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-69411-1_13 [Consulta 08/08/2026]
- Lanzarot Freudenthal, M.P. (2008) *Cianobacterias tóxicas y mortandades en masa de fauna salvaje en las marismas de Doñana*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <https://docta.ucm.es/entities/publication/d73642e2-7fe0-436c-8185-e8e2735b3fb2> [Consulta 10/08/2026]
- Así está el agua del Parque de Miraflores (6/10/25) [Vídeo] (2025) *Instagram* [*@losti_oficial*], 10 de octubre. Disponible en: <https://www.instagram.com/reels/DPenrn1jWGO/> [Consulta 10/08/2026]
- Alhambra y Generalife (2017) El equilibrio ecosistémico en la Alhambra y su territorio. *Blog Patronato de la Alhambra y Generalife*, 12 de junio. Disponible en: <https://www.alhambra-patronato.es/el-equilibrio-ecosistemico-en-la-alhambra-y-su-territorio> [Consulta: 08/08/2026]
- Peraza Zurita, Y., Cultrone, G., Sánchez Castillo, P., Sebastián, E. y Bolívar, F.C. (2005) Microalgae associated with deteriorated stonework of the fountain of Bibatauin in Granada, Spain. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 55, pp. 55-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.05.006> [Consulta 08/08/2026]
- Pinna, D. (2025) Essential Oils and Cultural Heritage Conservation: Are They Safe, Environmentally Friendly, Sustainable, and Negligibly Toxic? *Gels*, 11. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/gels11120978> [Consulta 08/08/2026]