

# La nanotecnología en la conservación del patrimonio cultural subacuático

Ildefonso Esteban Pech Pech, Yolanda Espinosa Morales

La protección y conservación el patrimonio cultural sumergido, es uno de los objetivos de la arqueología subacuática. En las profundidades de los vastas aguas subterráneas y oceánicas, se encuentra evidencia del desarrollo tecnológico, social y cultural que las diferentes civilizaciones han tenido con el transcurso de los años. Las piezas que aun se encuentran escondidas en la inmensidad de las aguas resguardan información que pueden contribuir a entender y complementar la historia actual de la humanidad (Fig. 1).



*Figura 1. Restos del buque de vapor Lola considerado patrimonio cultural subacuático ubicado en las costas de Campeche.*



El patrimonio subacuático enfrenta dos principales amenazas; la primera de ellas, se relaciona con la actividad humana; en ese sentido, la búsqueda de los tesoros escondidos en las profundidades de los océanos, cenotes, lagos y lagunas ha llevado al saqueo de yacimientos arqueológicos subacuáticos. La segunda amenaza que sufre el patrimonio subacuático, se relaciona con las condiciones ambientales y el entorno en el que estas piezas se encuentran en contacto. En ese sentido, las condiciones de presión, temperatura, tipo y concentración de sales, especies biológicas y fuerza del flujo del agua, son algunos elementos ambientales que al interactuar con la pieza produce su modificación química y/o física, y consecuentemente su deterioro. El tipo de deterioro que sufrirá la pieza dependerá de su naturaleza química. Por otra parte, una vez que las piezas se recuperan de las aguas profundas, los procesos de deterioro continuarán por efecto de la humedad; es decir, por efecto de la presencia de agua en forma de vapor presente en el ambiente, así como por efecto de los iones y/o partículas presentes en el aire. Por lo tanto, una vez recuperada la pieza, el trabajo para conservarla toma una relevancia sumamente importante. La nanotecnología es un área de investigación relacionada al diseño y producción controlada de nuevos materiales con dimensiones menores a los 100 nanómetros (Fig. 2).

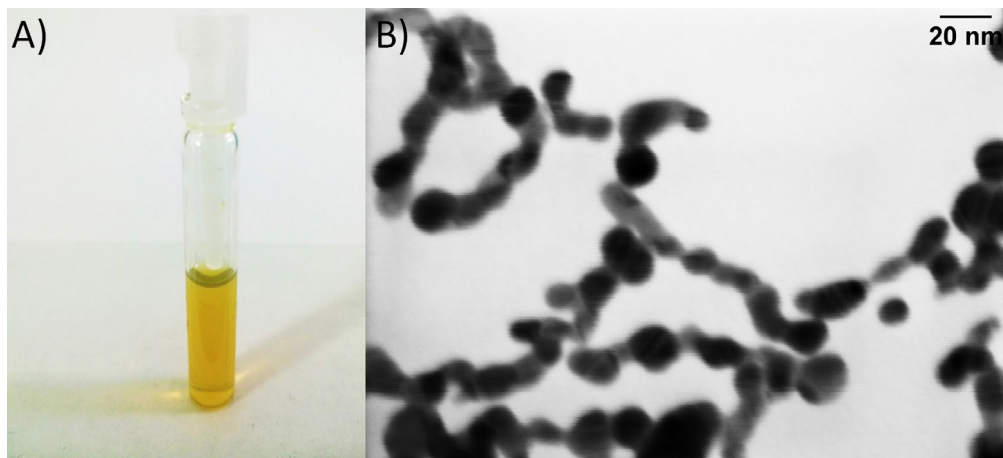


Figura 2. A) Solución de nanopartículas de plata obtenidas mediante reducción química. B) Micrografía obtenida mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo de las nanopartículas de plata con dimensiones alrededor de los 20nm.

A esas dimensiones extremadamente pequeñas, las propiedades físicoquímicas de los materiales suelen ser mejoradas respecto a los materiales tradicionales. Como consecuencia de lo anterior, actualmente existe un auge importante en el desarrollo y aplicación de nuevos materiales nanotecnológicos con la finalidad de detener la degradación de la pieza e incluso para revertir el estado de deterioro de la pieza e intentar regresarla a las condiciones que inicialmente tenía (Baglioni, 2006: 293-303).

Por ejemplo, es muy común encontrar piezas metálicas en ambientes subacuáticos con múltiples y elevados signos de deterioro asociada a la corrosión que ha sufrido. Debemos recordar que la corrosión es un término asociado al proceso de pérdida de material como resultado de la oxidación que sufre la pieza al interactuar con el agua y sus sales. En ese sentido, un recubrimiento de silano de espesores nanométricos recubierta de cera se ha propuesto como alternativa para mejorar la resistencia a la corrosión de artefactos arqueológicos de base hierro recuperados en naufragios (Ashkenazi, 2017: 88-102). La formación de óxidos también suele estar presente en piezas metálicas de origen subacuático (Fig. 3A).

Estos óxidos pueden tener diferentes formas o morfologías; las diferencias morfológicas que adoptan los óxidos que van creciendo sobre la superficie del metal solo son visibles dentro de la escala microscópica (Fig. 3B y 3C). Además, los óxi-

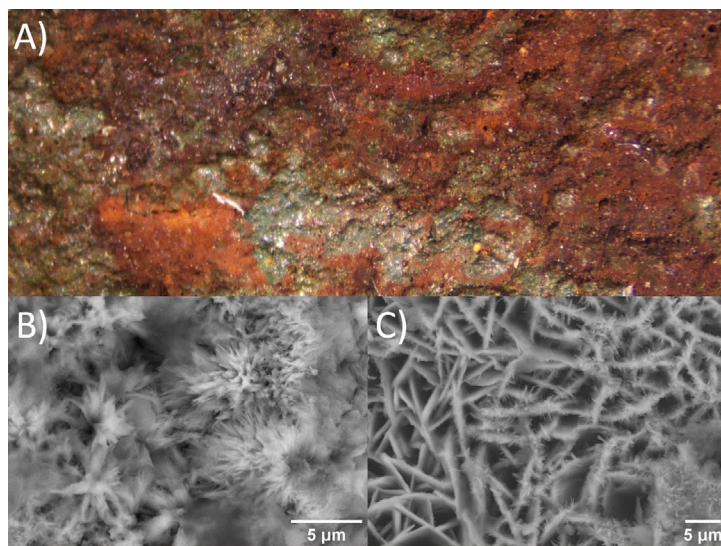


Figura 3. A) Imagen obtenida por microscopía óptica donde se observa la presencia de óxidos con diferentes coloraciones, que crecieron sobre una pieza metálica recuperada en las costas de la localidad de Lerma en el estado de Campeche. B) y C) Micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido, donde es posible observar las diferencias morfológicas de los óxidos microscópicos de la pieza metálica.

dos, al ser químicamente diferente a la pieza original, suele interactuar de manera diferente con los rayos de luz; consecuentemente, la percepción visual del color original también cambiará, afectando significativamente la estética de la pieza (Fig. 3A). Por lo tanto, el desarrollo de nanorecubrimientos puede ser una alternativa no solo para evitar la corrosión de la pieza, sino también para detener los cambios estéticos de color asociados al crecimiento de nuevos óxidos. Adicionalmente, otros cambios estéticos que suelen presentar las piezas metálicas recuperadas en ambientes subacuáticos, son los asociados al crecimiento de biopelículas o biocostras; es decir, productos de degradación biológica que se generan debido a la interacción de microorganismos o bacterias con la superficie del metal o sus óxidos (Fig 4). En ese sentido, las nanopartículas de plata (Fig. 2) es uno de los nanomateriales que ha generado mayor interés para utilizarlo en la prevención o tratamiento de la colonización microbiana en los materiales de patrimonio cultural (Franco Castillo, 2021: 629-669) (Ganguli, 2021: 3769-3777); sin embargo, estudios sobre su uso de este y otro tipo de nanomateriales para la prevención y tratamiento de diferentes microorganismos y bacterias en patrimonio cultural subacuático es aún limitado.



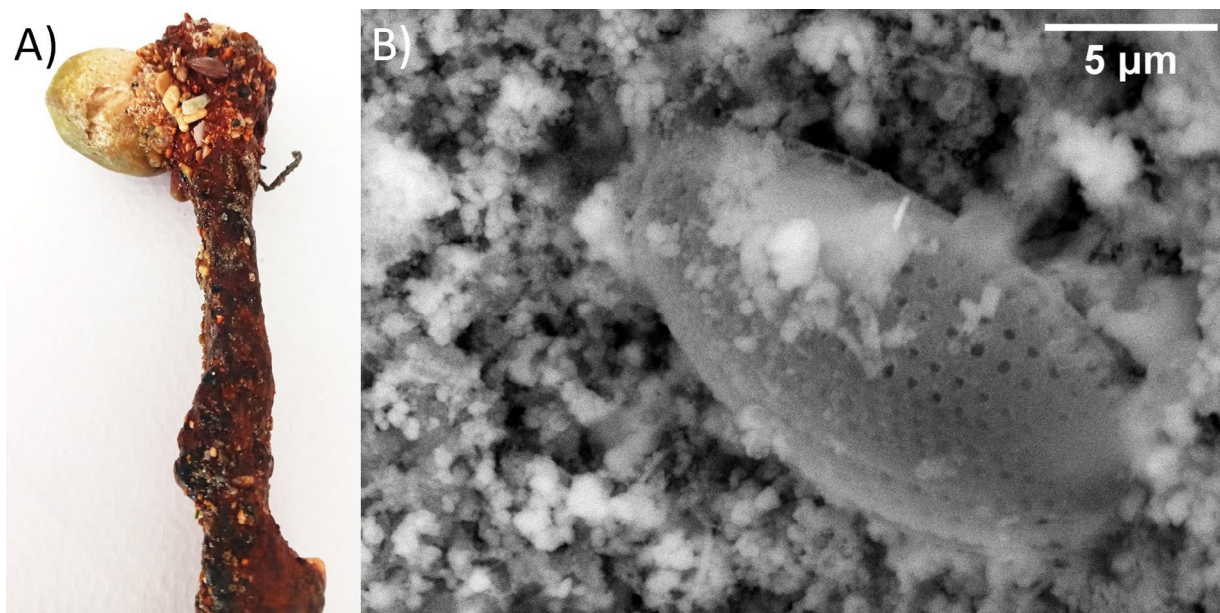


Figura 4. A) Imagen digital donde se puede observar el crecimiento concreciones biológicas o biocostras depositadas sobre una pieza metálica recuperada en las costas de la localidad de Lerma en el estado de Campeche. B) Micrografía de alta magnificación obtenida mediante microscopía electrónica de barrido de una sección de la biocostra.

Los vidrios también suelen encontrarse como parte de materiales arqueológicos subacuáticos. Este tipo de materiales suelen presentar concreciones biológicas y signos de erosión asociada al agua que fluye sobre su superficie. Además, los vidrios arqueológicos subacuáticos pueden presentar un deterioro de su estructura interna debido a incrementos en el pH cuando interactúan con el agua y sus sales, el cual propicia la degradación del vidrio y consecuentemente favorece la formación de poros superficiales (Fig. 5). En ese sentido, la adición de nanopartículas de silicio y aluminio han demostrado aumentar la dureza del vidrio; además, este tipo de nanopartículas demostraron tener la capacidad de formar una capa protectora que reduce la interacción de la superficie del vidrio con el agua (Eloriby, 2022: 67-78).

Otro tipo de material que suele estar presente como patrimonio cultural sumergido son las piezas de madera, tal como las de tipo roble y pino.

Este tipo de materiales suele presentar problemas de degradación por acidificación debido a la acción metabólica de bacterias; las cuales, producen ácido sulfúrico y propician el deterioro de la madera. Las nanopartículas de hidróxido de magnesio como las nanopartículas de hidróxido de calcio han demostrado actuar como reservorios alcalinos; las cuales, una vez adheridas a este tipo de maderas, son capaces de neutralizar su acidez y consecuentemente reducir su deterioro a través de la liberación de iones hidroxilos (Giorgi, 2006: 567-571) (Bagliolini, 2021: 3967). Por otra parte, la madera se hace más frágil

y propensa a romperse debidos factores ambientales, como los microorganismos y el agua. Con respecto a lo anterior, la celulosa en dimensiones nanométricas o nanocelulosa ha demostrado tener la capacidad de consolidar la matriz de la madera dañada y mejorar sus propiedades mecánicas (Hamed, 2019: 140-144). Además, las nanopartículas de dióxido de titanio también ha demostrado ser otra alternativa que puede ser utilizada para mejorar las propiedades mecánicas de piezas arqueológicas de madera; adicionalmente, este tipo de nanopartículas, al igual que las nanopartículas de plata, cobre y óxido de zinc han sido materiales propuestos para lograr la protección de este tipo de piezas contra especies como moho y hongos (David, 2020: 2064).

En resumen, la conservación y remediación del patrimonio cultural subacuático depende de la naturaleza química y el estado de deterioro que presenta la pieza. Por consiguiente, la posibilidad que brinda la nanotecnología para diseñar y desarrollar nuevos materiales multifuncionales con propiedades avanzadas se ha convertido en nueva herramienta tecnológica para lograr los dos objetivos anteriores.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Dra. Mayra Manrique Ortega, así como a los proyectos LN315853 y LN 314846 del LANCIC-CICORR, que permitieron el acceso al microscopio óptico y electrónico utilizado en este trabajo. Los autores también agradecen al Dr. Dominic Gervasio y a la Universidad de Arizona por las imágenes de microscopía electrónica de barrido de emisión de campo.

## **Referencias**

Ashkenazi, D., Nusbaum, I., Shacham-Diamand, Y., Cvikel, D., Kahanov, Y., & Inberg, A. (2017). A method of conserving ancient iron artefacts retrieved from shipwrecks using a combination of silane self-assembled monolayers and wax coating. *Corrosion Science*, 123, 88-102.



Baglioni, M., Poggi, G., Chelazzi, D., & Baglioni, P. (2021). Advanced materials in cultural heritage conservation. *Molecules*, 26(13), 3967.

Baglioni, P., & Giorgi, R. (2006). Soft and hard nanomaterials for restoration and conservation of cultural heritage. *Soft matter*, 2(4), 293-303.

David, M. E., Ion, R. M., Grigorescu, R. M., Iancu, L., & Andrei, E. R. (2020). Nanomaterials used in conservation and restoration of cultural heritage: An up-to-date overview. *Materials*, 13(9), 2064.

Eloriby, R. A., Mohamed, W. S., & Alkaradawi, A. S. (2022). Evaluation of the impact of silica and alumina nanocomposites in consolidation and protection of corroded glass from early Islamic period in Egypt: an multiscientific experimental and analytical study. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 22(1), 67-78.

Franco-Castillo, I., Hierro, L., Jesús, M., Seral-Ascaso, A., & Mitchell, S. G. (2021). Perspectives for antimicrobial nanomaterials in cultural heritage conservation. *Chem*, 7(3), 629-669.

Ganguli, P., & Chaudhuri, S. (2021). Nanomaterials in antimicrobial paints and coatings to prevent biodegradation of man-made surfaces: A review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3769-3777.

Giorgi, R., Chelazzi, D., & Baglioni, P. (2006). Conservation of acid waterlogged shipwrecks: nanotechnologies for de-acidification. *Applied Physics A*, 83, 567-571.

Hamed, S. A. A. K. M., & Hassan, M. L. (2019). A new mixture of hydroxypropyl cellulose and nanocellulose for wood consolidation. *Journal of Cultural Heritage*, 35, 140-144.