



III Jornadas sobre Tecnología de Recubrimientos

Nuevas tendencias en materiales, superficies e interfaces

La Plata, 24 y 25 de abril de 2025.

RESUMEN

Estudio de nanopartículas mesoporosas como componente de estabilización iónica en materiales cargados con iones Ag^+ para aplicaciones sanitarias

V. Volcanes^(a), L. Yohai^(a), I. Redersdorff^(b), K. Herrera^(b), R. Procaccini^(a), S. Pellice^{(a)*}

^(a)Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA, CONICET-UNMDP), Argentina

^(b)Instituto de Investigaciones Biológicas (IIB, CONICET-UNMDP), Argentina

*Autor de correspondencia: spellice@fi.mdp.edu.ar

El desarrollo de materiales híbridos orgánico-inorgánicos mediante la química sol-gel permite abordar desafíos complejos en áreas tan diversas como la bioingeniería, remediación ambiental, farmacéutica, etc. Particularmente, permite la combinación de materiales híbridos con diferentes nanopartículas y elementos o componentes funcionales (Innocenzi, 2023). En el campo de las aplicaciones sanitarias, pueden aprovecharse las propiedades difusivas desarrolladas en estructuras hidrofílicas para facilitar la migración de iones de plata. Del mismo modo, dichas estructuras pueden contener componentes que, a su vez, pueden actuar como sitios de acumulación y liberación de dichos iones Ag^+ biocidas (Giraldo et al., 2020). Así, mediante la química sol-gel, es posible desarrollar una ingeniería de nanomateriales capaces de otorgar una protección antibacteriana a la medida de cada necesidad.

En este trabajo se presenta el estudio de los efectos de la interacción entre iones Ag^+ y nanopartículas mesoporosas modificadas superficialmente con grupos amino (MSN), en el entorno químico de un recubrimiento con matriz híbrida orgánico-inorgánica, sobre las características estructurales y funcionales del recubrimiento nanocompuesto resultante. Las nanopartículas mesoporosas fueron sintetizadas a partir de la condensación hidrolítica de tetraetoxisilano (TEOS), en medio acuoso alcalino, utilizando bromuro de hexadeciltrimetilamonio (CTAB) como surfactante. Subsecuentemente, las nanopartículas obtenidas se sometieron a un proceso de modificación superficial mediante su activación superficial en medio ácido y la posterior silanización con aminopropil-trietoxisilano (APTES) en medio anhidro. La matriz híbrida orgánico-inorgánica, TG, se



sintetizó en medio ácido, a través de la condensación hidrolítica de TEOS y glicidoxipropil-trimetoxisilano (GPTMS), en relación TEOS/GPTMS = 3/2 y con la incorporación de agua en relación estequiométrica para alcanzar una condensación hidrolítica completa. Los iones Ag^+ se incorporaron mediante la disolución de nitrato de plata en el sol TG a temperatura ambiente, alcanzando una concentración de 1000 ppm, obteniendo así el sol TG-Ag. Posteriormente, se agregaron las nanopartículas MSN alcanzando una relación $\text{Ag}^+/\text{MSN} = 47 \text{ mg/g}$, obteniendo así el sol TG/MSN-Ag. Con fines comparativos, también se sintetizó un sol TG/MSN. Los recubrimientos se depositaron, sobre sustratos de vidrio sodocálcico, por el método de *dip-coating* y se sometieron a un tratamiento de densificación térmica en aire a 120 °C.

Para el análisis de este sistema, se utilizaron técnicas de fluorescencia de rayos-X, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, espectroscopia UV-visible, ángulo de contacto, microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia de impedancia electroquímica y ensayos microbiológicos de difusión en agar frente a cultivos de *Escherichia coli*. De este modo, se analizaron: la isoterma de adsorción de Ag^+ sobre las MSN- NH_2 en medio acuoso, la adsorción de Ag^+ sobre las MSN en el entorno químico del sol TG/MSN-Ag, la conformación molecular de la matriz del sol TG/MSN-Ag. Por otra parte, sobre los recubrimientos se analizaron: ángulo de contacto, estabilidad térmica, morfología, estado de agregación de la plata, la movilidad iónica y la actividad antibacteriana.

En la Figura 1.a puede observarse la morfología *rod-like* de las MSN sintetizadas, lo cual es característico de las nanopartículas con estructura mesoporosa cilíndrica y con arreglo hexagonal, propio de los materiales MCM-41. Se observó que las MSN adsorben los iones de plata siguiendo el modelo de Langmuir, indicando un proceso de adsorción en monocapa sobre una superficie con distribución de sitios de anclaje homogénea, alcanzando una capacidad de adsorción teórica $q_m = 202 \text{ mg/g}$ (Ag^+/SiO_2). Las nanopartículas MSN adsorbieron casi la totalidad (~98 %) de los iones Ag^+ presentes en el sol. Por otra parte, los recubrimientos obtenidos resultaron homogéneos e íntegros y se comprobó la movilidad de los iones dentro de la matriz de los recubrimientos. Las nanopartículas MSN estabilizaron los iones Ag^+ , inhibiendo los procesos de reducción térmica y regulando los procesos de liberación de iónica. Los ensayos microbiológicos preliminares (Figura 1.b) evidenciaron diferencias significativas en el desarrollo del halo de inhibición, ausente en el recubrimiento TG/MSN-Ag. A su vez, las medidas electroquímicas, luego de la inmersión de las películas en agua bidestilada a 37°C, evidenciaron los procesos de movilidad iónica y lixiviación de los iones Ag^+ tanto en el sistema TG-Ag como en el TG/MSN-Ag.

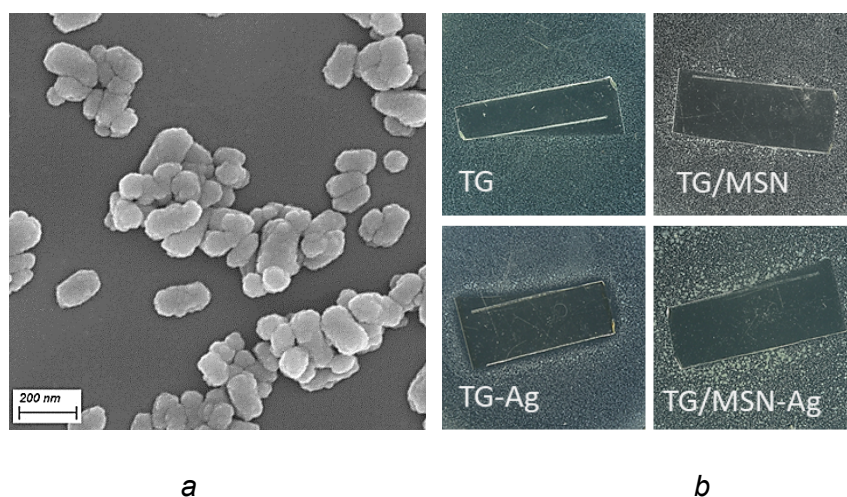


Figura 1. a) Micrografía SEM de nanopartículas MSN y b) ensayos de difusión en agar de los recubrimientos frente a cultivos de *Escherichia coli*

Palabras clave: Sol-gel, nanopartículas mesoporosas, iones de Ag^+ , recubrimientos nanocompuestos, *Escherichia coli*

Modalidad: ORAL

Referencias

- Innocenzi, P. (2023). Sol-gel processing for advanced ceramics, a perspective. *Open Ceramics* 6(100477). <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100477>
- Giraldo, H., Jiménez-Piqué, E., Valdés, M., Procaccini, R. y Pellice, S. (2020). Epoxy-silica/clay nanocomposite for silver-based antibacterial thin coatings: Structure and ionic mobility. *Journal Solid State Electrochemistry*, 24(2), 2451-2460. <https://doi.org/10.1007/s10008-020-04784-y>