

¿Qué son los nuevos materiales denominados en inglés “MXenes conductive clays”? su relación con los minerales de la arcilla

Eduardo Ruiz-Hitzky

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC. C/ Sor Juana Inés de la Cruz 3, 28049 Madrid (España)
eduardo@icmm.csic.es

Palabras Clave: MXenos, Arcillas conductoras, Sólidos 2D. **Key Words:** MXenes, Conductive clays, 2D solids.

RESUMEN

Ciertas publicaciones recientes en inglés están empleando de manera creciente la terminología *conductive clays* (“arcillas conductoras”) refiriéndose a compuestos denominados *MXenes* (en español MXenos), aunque la comunidad científica dedicada al estudio de las arcillas permanece en general ajena a estos materiales emergentes. Trataremos en esta comunicación de informar y discutir acerca de la naturaleza de este tipo de sólidos, así como sobre su relación con los minerales de la arcilla, considerando sus analogías estructurales, propiedades más destacadas y aplicaciones avanzadas. Los MXenos, descubiertos hace aproximadamente una década (Naguib et al., 2011) son una amplia familia de sólidos de estructura laminar, que por sus excepcionales propiedades físico-químicas son muy interesantes para diversas aplicaciones tecnológicas y que sin duda van a constituir un marcado avance en el campo de los materiales funcionales (Naguib et al., 2011; Anasori et al., 2017; Anasori & Gogotsi, 2019; Wyatt et al., 2021).

Los MXenos son también conocidos como *conductive clays* por mostrar cierta semblanza con algunos minerales de la arcilla. Pero esta nomenclatura aludiendo a “arcillas conductoras” no guarda ninguna relación con aquellos filosilicatos del tipo de las esmectitas dotados de conductividad eléctrica tras la incorporación de componentes específicos, como nanopartículas electroactivas o polímeros conductores (Ruiz-Hitzky & Aranda., 1990; Ruiz-Hitzky et al., 2016; Darder et al., 2017). Más bien el “apodo” que reciben los MXenos se atribuye a su similitud con algunos minerales de la arcilla, ya que son sólidos microcristalinos laminares (Fig. 1), dotados de propiedades de intercalación, capacidad de exfoliación y que pueden deslaminarse formando sistemas coloidales acuosos estables.

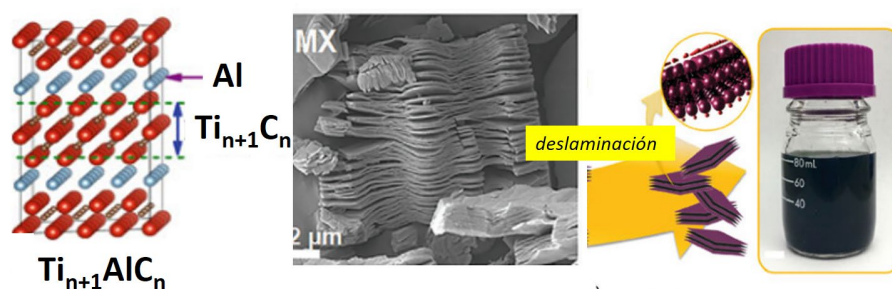


Fig 1. Esquema estructural de una fase MAX de fórmula $Ti_{n+1}AlC_n$ (izquierda); imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido (centro) de un MXeno generado por extracción del Al de MAX mediante tratamiento con HF, que da lugar a una suspensión coloidal estable por deslaminación (derecha) (Anasori & Gogotsi, 2019; Li et al., 2022)

Hay que destacar que los MXenos tienen la interesantísima propiedad de que, al igual que los metales o el grafeno, son muy buenos conductores electrónicos aun presentando un claro carácter hidrofílico en estrecha similitud a las arcillas. Es sabido que esta capacidad de mostrar simultáneamente conductividad eléctrica e hidrofilia es una característica muy infrecuente en sólidos inorgánicos de naturaleza coloidal. Otros sólidos de estructura 2D ya ampliamente estudiados, como ciertos óxidos y calcogenuros de metales de transición, poseen también propiedades de intercalación como las esmectitas y vermiculitas, presentando una conductividad eléctrica moderada, típica de los semiconductores.

Con una composición química absolutamente diferente a la de las arcillas, los MXenos provienen de carburos, nitruros y carbonitruros de metales de transición de fórmula general $M_{n+1}AX_n$ con $n = 1-3$ (denominadas fases MAX) donde “M” representa un metal de transición, típicamente de las columnas 3 y 7 de la tabla periódica, como por ejemplo los elementos Ti, Zr, V, Nb, Ta, Cr, Mo, etc; “A” pertenece a elementos del 13 a 16 (ejemplos: Al, Ga, Si, Ge,...), y “X” es carbono y/o nitrógeno. Los MXenos se sintetizan extrayendo selectivamente las capas de los elementos “A” de las fases MAX, en general mediante tratamientos con HF en medio acuoso o con una mezcla de LiF en HCl diluido, generando los compuestos de fórmula general $M_{n+1}X_n$. Finalmente, especies OH, O o incluso F (insertado por el tratamiento con HF) constituyen las terminaciones superficiales que inducen las propiedades hidrofílicas de los MXenos (Anasori & Gogotsi, 2019).

La elevada conductividad eléctrica junto a sus características como coloides en medio acuoso abren perspectivas muy atractivas para el estudio fundamental y tecnológico de los MXenos. Hasta el presente se han propuesto aplicaciones muy diversas, desde adsorbentes y catalizadores muy potentes y selectivos hasta componentes de almacenamiento de energía, sensores o materiales bioactivos (Anasori et al., 2017).

En esta comunicación se establece una comparación de los MXenos con los minerales de la arcilla y se describen aspectos relacionados con su síntesis, propiedades físicas y químicas, así como algunas de sus aplicaciones, incluyendo resultados muy recientes basados en la propia experiencia del autor en este tema, con ejemplos que ilustran su comportamiento como superadsorbentes, materiales hemostáticos antimicrobianos y sensores piezoeléctricos basados en nanocomposites MXenos-carbono (Wu et al., 2021; Li et al., 2022).

Podría concluirse que la terminología recientemente observada en publicaciones sobre MXenos no parece acertada en cuanto a englobar la palabra “arcilla”, pero es cierto que guarda estrecha relación con estos minerales. En efecto, este tipo de filosilicatos puede considerarse como un modelo de estudio de otros sólidos laminares de muy variada composición química, pero que tienen en común la capacidad de intercalación, exfoliación y formación de sistemas coloidales de manera similar a los minerales de la arcilla. Por lo tanto, el conocimiento profundo, tan ampliamente logrado en la ciencia y tecnología de arcillas, puede ser de enorme utilidad para desarrollar un avance rápido en la investigación sobre MXenos y materiales relacionados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación al proyecto PID2019-105479RB-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033).

REFERENCIAS

- Anasori, B. & Gogotsi, Y. (2019): 2D Metal Carbides and Nitrides (MXenes). Structure, Properties and Applications. Springer Nature Switzerland. 534 p.
- , Lukatskaya, M.R., Gogotsi, Y. (2017): 2D metal carbides and nitrides (MXenes) for energy storage. *Nature Rev. Mater.*, **2**, 16098. DOI: 10.1038/natrevmats.2016.98.
- Darder, M., Aranda, P., Ruiz-García, C., Fernandes, F., Ruiz-Hitzky, E. (2017): The meeting point of carbonaceous materials and clays: toward a new generation of functional composites. *Adv. Funct. Mater.*, **26**, 7394-7405. DOI: 10.1002/adfm.201704323.
- Li, S., Gu, B., Li, X., Tang, S., Zheng, L., Ruiz-Hitzky, E., Sun, Z., Xu, C., Wang, X. (2022): MXene-enhanced Chitin Composite Sponges with Antibacterial and Hemostatic Activity for Wound Healing. *Adv. Healthc. Mater.*, 2102367. DOI: 10.1002/adhm.202102367.
- Naguib, M., Kurtoglu, M., Presser, V., Lu, J., Niu, J., Heon, M., Hultman, L., Gogotsi, Y., Barsoum, M. W. (2011): Two-dimensional nanocrystals produced by exfoliation of Ti_3AlC_2 . *Adv. Mater.*, **23**, 4248-4253. DOI: 10.1002/adma.201102306.
- Ruiz-Hitzky, E. & Aranda, P. (1990): Polymer-salt intercalation complexes in layer silicates. *Adv. Mater.*, **2**, 545-547. DOI: 10.1002/adma.19900021108.
- Wu, Z., Deng, W., Tang, S., Ruiz-Hitzky, E., Luo, J., Wang, X. (2021): Pod-inspired MXene/porous carbon microspheres with ultrahigh adsorption capacity towards crystal violet. *Chem. Eng. J.*, **426**, 130776. DOI: 10.1016/j.cej.2021.130776
- Wyatt, B.C., Nemani, S.K., Desai, K., Kaur, H., Zhang, B., Anasori, B. (2021): High-temperature stability and phase transformations of titanium carbide ($Ti_3C_2T_x$) MXene. *J. Phys. Condens. Matter.*, **33**, 224002. DOI: 10.1088/1361-648X/abe793.