

06. LA CIENCIA DETRÁS DE LAS ARCILLAS SINTÉTICAS ECOLÓGICAS.

Norma Alejandra González Rojas
Estudiante del Doctorado en
Ciencias en Química
CUCEI, UDG
ORCID: 0000-0003-1975-9431

Minerva Guadalupe Ventura Muñoz
Estudiante del Doctorado en Ciencias
en Química
CUCEI, UDG
ORCID: 0000-0002-4203-5418

Fermín Paul Pacheco Moisés
Profesor investigador. CUCEI, UDG
ORCID: 0000-0002-3769-5649

Gregorio Guadalupe Carbajal Arízaga
Profesor docente. CUCEI, UDG.
ORCID: 0000-0003-3120-0243





RESUMEN

Los compuestos laminares son polvos finos en los que cada partícula está formada por centenas de láminas. Si se observan en un microscopio, cada partícula es una sola pieza compuesta por muchas capas apiladas ordenadamente, similares a un pan de hojaldre. Dado que las capas no están unidas químicamente, son susceptibles de intercalarse con moléculas ajenas que estén en el ambiente. Estos compuestos se sintetizan a nivel laboratorio, controlando la composición y distribución de las moléculas entre las láminas u hojas, logrando así la formación de un compuesto híbrido que combine o potencie las propiedades del nuevo material formado. Para conseguir estos nuevos compuestos existen diferentes procedimientos para producirlos, que hasta cierto punto generan residuos inorgánicos químicos, lo que provocaría un impacto negativo a nivel ambiental. Para resolver esta problemática surgió la denominada química verde que trata de la obtención de compuestos químicos utilizando procedimientos ecológicos. En este texto mostraremos que el procedimiento mecanoquímico es adecuado y eficiente para la formación de compuestos nanométricos con propiedades avanzadas.

Las arcillas pertenecen a un grupo de minerales cuya estructura se compone de láminas, semejantes a una pasta de hojaldre. Como ejemplo de estas arcillas, se tienen la caolinita (componente del hormigón), la montmorillonita (componente de mascarillas antiacné), la haloisita (presente en membranas purificadoras de agua, Figura 1), la hectorita (emulsificante para cosméticos) y la clorita (usada en filtros de agua).

Una repercusión importante de su estructura es que las arcillas son capaces de albergar moléculas ajenas entre sus láminas, como si a una pasta de hojaldre la rellenáramos con crema pastelera o con chispas de chocolate. Las nuevas moléculas pueden ser fertilizantes, fármacos o nutrientes para fortificar alimentos. Los compuestos que se retengan tendrán más estabilidad química ante la degradación o reaccionar de una manera ordenada y es por este motivo que algunos investigadores proponen que las arcillas pudieron

retener aminoácidos y propiciar la formación de las moléculas con las que se originó la vida ^[1].

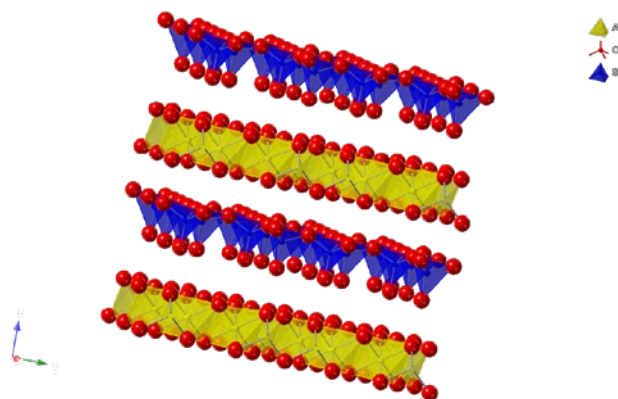


Figura 1. Estructura laminar de la haloisita.



De manera análoga a las arcillas naturales, existen compuestos sintéticos que mantienen la estructura laminar, llamados hidróxidos dobles laminares (HDLs).

Químicamente, la semejanza radica en que están formados por elementos compatibles con el medio ambiente, incluso con sistemas. Al ser compuestos sintéticos, es posible tener un control de su composición y modular sus propiedades, a diferencia de las arcillas naturales, donde el tipo y cantidad de impurezas dependerán de las condiciones geológicas de su formación.

Al sintetizarse, se seleccionan los elementos químicos que les otorgarán sus propiedades químicas, como la de activarse en ambientes ácidos lo que permite usarlos para retener fármacos y liberarlos selectivamente en tejidos cancerosos; (ya que los tumores suelen ser ligeramente ácidos).

Cuando un HDL es combinado con fármacos o fertilizantes orgánicos se forma un material híbrido. Estos materiales tienen dimensiones nanométricas, y son capaces de realizar más de dos funciones, por ejemplo, reconocer selectivamente un tejido, liberar un fármaco si este tejido está dañado, aumentar su temperatura para destruir un tejido dañado y emitir una señal fluorescente para conocer su posición en el tejido deteriorado.

Un uso común de los materiales híbridos con HDLs es transportar un fármaco para hacerlo más eficiente. La retención del fármaco puede darse entre las decenas de hojas que contiene cada partícula o exclusivamente en la superficie (Figura 2), en ambas situaciones se forma un compuesto híbrido [2].

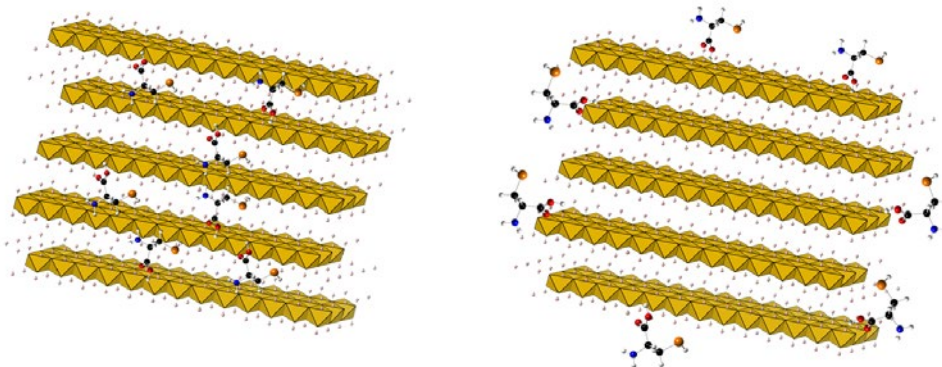


Figura 2. Estructura de una partícula híbrida de HDL con moléculas de cisteína intercaladas en su espacio interlaminar (izquierda) y en el exterior de la partícula (derecha).

El motivo de preparar materiales híbridos es mejorar algunas cualidades; por ejemplo, la curcumina es un compuesto de origen vegetal que tiene propiedades terapéuticas, pero no se disuelve con agua, y por lo tanto su eficiencia en las terapias contra el cáncer es baja. Al transformarlo en un híbrido con HDLs, se puede aumentar la solubilidad en agua hasta el 50% y, en consecuencia, aplicarlo fácilmente en el tratamiento de células cancerosas. Además, el HDL cuando está formado por una red de magnesio, se aumenta la velocidad de liberación de curcumina en el estómago, mientras que con Zn^{2+} la liberación es más

lenta y solo se libera hasta llegar al intestino delgado, además, protege a la curcumina de la degradación por luz ultravioleta [3].

Si bien, la estructura de estos híbridos es compleja, los métodos de obtención también lo son. Entre los métodos comunes están los llamados procesos de reconstrucción o rehidratación, la exfoliación y reensamblaje, la coprecipitación y el intercambio iónico. Estos procedimientos generan residuos químicos, necesitan solventes y requieren al menos 24 horas de reacción. Una manera de que estos procesos sean más



amigables con el medio ambiente es reducir la generación de residuos, evitar solventes y reducir el tiempo de reacción, lo que representa menos consumo de energía. A esta estrategia se le denomina “química verde” y un procedimiento verde que se adapta a la síntesis de estos compuestos es el método mecanoquímico. Por más rebuscado que suene, no es muy diferente a preparar una salsa en un molcajete. Los reactivos (vegetales de la salsa) se mezclan y se someten a una molienda en un mortero o en un molino (molcajetes), lo que promueve la transformación mediante la conversión de energía mecánica a energía química.

En la literatura apenas se encuentran algunos trabajos del uso de este método en la preparación de materiales híbridos con HDLs, y es por ello que nuestro grupo ha explorado este procedimiento para obtener híbridos con diferentes compuestos y fármacos incorporados como melatonina, N-acetil cisteína, glutatión, doxorubicina, vincristina, vinblastina y 5-fluoracilo.

En estos experimentos se detectó como ventaja que i) se evitó el uso de solventes para predisolver los compuestos orgánicos, ii) se eliminó la formación de álcalis o residuos inorgánicos y en especial iii) no se alteró la composición de las láminas del HDL, así como también iv) se redujo el tiempo de reacción de 24 horas a 20 minutos, que fue uno de los hallazgos más sorprendentes obtenidos con esta técnica. Sin bien algunos autores indican que una limitación del método es que requiere una alta cantidad de reactivos, nuestro equipo ha logrado buenos resultados utilizando 20 miligramos de reactivos, lo que es ventajoso cuando se trabaja con sustancias de difícil obtención o costosas. Finalmente, cabe señalar que este método es más efectivo cuando la reacción deseada ocurre en la superficie de las partículas de HDLs [Figura 2, derecha]. Si se busca la intercalación de compuestos entre las láminas [Figura 2, izquierda], se requiere un tiempo de reacción más prolongado.

CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta que el método mecanoquímico reduce la cantidad de reactivos, de energía, tiempo y minimiza residuos, es prometedor para usarse en la preparación de materiales híbridos con HDLs ya sean en prácticas de docencia o en el diseño de materiales avanzados, en especial para mejorar la solubilidad de fármacos o nutrientes en suplementos alimenticios.

Referencias Bibliográficas

1. Klopogge JT (Theo), Hartman H. Clays and the origin of life: The experiments. *Life*. 2022 Feb 9;12(2):259.
2. Dillenburger JD, Schulte L, Suleiman M, Sheehan CJ, Mallouk TE. Selective covalent basal plane modification as a probe of hydroxide ion conduction pathways in magnesium aluminum layered double hydroxides. *ChemSusChem*. 2024 Sep 23;17(18).
3. Gutiérrez-Gutiérrez F, Sánchez-Jiménez C, Rangel-Castañeda IA, Carbajal-Arízaga GG, Macías-Lamas AM, Castillo-Romero A, et al. Encapsulation of curcumin into layered double hydroxides improve their anticancer and antiparasitic activity. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* [Internet]. 2020 Jun 8;72(7):897–908. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/jphp.13266>

