

Comparación del uso del término “materiales híbridos” en la literatura científica

Rico-García Diana¹
Ventura-Muñoz Minerva¹
Carbajal-Arízaga Gregorio¹

¹ Departamento de Química; Universidad de Guadalajara; C.P. 44430, Guadalajara, Jalisco.

Resumen

Este trabajo presenta una comparación de artículos en los cuales se usa el término “material híbrido”. Los materiales híbridos tienen una amplia gama de aplicaciones en ciencias de la salud; sin embargo, el uso del término “híbrido” se ha referido en la mayoría de los artículos científicos a la mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos, siendo que la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) tiene definido este término con base en la unión covalente entre los componentes en un material. Con esta comparación se pretende aclarar a los lectores las dos formas en que se interpreta este concepto para mejorar el entendimiento de la literatura.

Palabras clave: Materiales híbridos, materiales, química.

Abstract

This paper presents a comparison of articles using the term “hybrid material”. Hybrid materials are widely used in health sciences; nonetheless, the term hybrid is misused. In most of the scientific article “hybrid materials” is considered as the solely mixture of organic and inorganic components. However the International Union of Pure and Applied Chemistry —IUPAC— has well defined this term based on the covalent union of the components within a material. With this comparison we aim to clarify to the reader the two forms this term is used to achieve a better interpretation and understand of the literature.

This comparison was made with the purpose of analyzing the use and understanding of the different definitions of hybrid materials as well as the definition established by the IUPAC.

Key words: Hybrid materials, materials, chemistry.

Introducción

La palabra “material” proviene del término latino *materialis* y hace referencia a lo que tiene que ver con la materia. La materia, por su parte, es aquello que se opone a lo abstracto o espiritual. Los materiales son un conjunto de elementos que se utilizan para un fin en específico. Una de las clasificaciones clásicas divide a los materiales en metales, los cerámicos, los poliméricos, los semiconductores y los materiales compuestos (Askeland & Phulé, 2004).

Los materiales compuestos son los que están conformados por dos o más materiales y están diseñados para alcanzar la mejor combinación de las características de cada componente. Por ejemplo, la fibra de vidrio es mecánicamente resistente debido al vidrio, y flexible debido al polímero. Otro ejemplo de materiales compuestos son los llamados materiales híbridos, estos materiales son definidos como la unión de un

material de origen orgánico y un material de origen inorgánico. Sin embargo, esta definición no otorga información sobre la química molecular de estos materiales (William D. Callister, 2002).

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) define un material híbrido como “Material compuesto por una mezcla íntima de componentes inorgánicos y componentes orgánicos o ambos tipos de componentes unidos por medio de un enlace covalente” (Alemán et al., 2007).

En las tablas 1 y 2 se muestra una comparación de diversos artículos en los cuales se utilizan las definiciones de material híbrido, la definición de algunos textos de ciencias de materiales y la definición IUPAC.

Dado que la definición IUPAC contempla una interacción química entre dos componentes, en las tablas 1 y 2 también se presentan las técnicas de caracterización que demuestran la unión química.

Tabla 1. Ejemplos de artículos donde el concepto de material híbrido se considera cuando tiene componentes orgánicos e inorgánicos, independientemente del tipo de unión entre ellos

Tema del artículo	Descripción del material	Técnicas de caracterización	Referencia
Híbridos de plata-avidina biológicamente activos.	Híbridos biológicamente activos que retienen su capacidad específica de unión a biotina de bajo y alto peso molecular y moléculas biotiniladas que exhiben estabilidad térmica mejorada. Los híbridos obtenidos se utilizaron con éxito para imágenes moleculares de células cancerosas pre marcadas con anticuerpos monoclonales biotinilados. La deposición de plata dirigida a la superficie de avidina se realizó mediante conjugación controlada de cadenas poliméricas reductoras de plata a la superficie de avidina.	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM). • Microscopía electrónica de transmisión (TEM). 	Mor, Vernick, Moscovich-Dagan, Dror, & Freeman, 2011.
Silicona de base biológica sustentable con híbrido de hidróxido doble laminar (HDL).	Los HDL se introducen en compuestos fenólicos, donde la silicona biobasificada es reforzada con fibra de sisal modificada para aplicaciones en áreas de alta tecnología como la industria microeléctrica y automotores ligeros. La unión de estos compuestos es mediante átomos de hidrógeno de metilo unidos a silicio y a anillos fenólicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Resonancia magnética nuclear (RMN). • Difracción de rayos x (XRD). • Análisis elemental. • Microscopía electrónica de barrido (SEM). 	Li et al., 2016.

Tema del artículo	Descripción del material	Técnicas de caracterización	Referencia
Híbridos de lantánido-porfirina con propiedades fotofísicas.	Hidróxidos estratificados de tierras raras con intercalaciones de porfirinas tetrasulfonadas para investigar propiedades fotofísicas las cuales sugieren que el material es fluorescente, por lo que la alteración de esta propiedad presenta una oportunidad para preparar marcos orgánicos de metal con capacidad para detectar oxígeno o potencial de oxidación hacia moléculas orgánicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Difracción de rayos x (XRD). • Espectroscopía infrarroja (FTIR) HT-XRD. • Espectroscopía UV/VIS. • Emisión de fluorescencia. 	Demel et al., 2013.
Sílice activado con lignina y aminosilano como precursores en la producción de materiales híbridos.	El dióxido de silicio se funcionalizó inicialmente con aminosilano para activar la superficie, y posteriormente el material de sílice se combinó con lignina oxidada usando peróxido de hidrógeno.	<ul style="list-style-type: none"> • Espectroscopía infrarroja (FTIR). • Microscopía electrónica de barrido (SEM). 	Klapiszewski, Szalaty, Zdarta, & Jesionowski, 2016.
Un novedoso material funcional de sílice / lignina híbrida como potencial bio-base de relleno de polipropileno.	Se obtuvo una carga híbrida funcional de sílice / lignina utilizando un proceso de molienda mecánica de precursores (SyloidVR244 sílice y lignina kraft).	<ul style="list-style-type: none"> • Espectroscopía infrarroja (FTIR) • Análisis termogravimétrico. 	Quraishi et al., 2015.

En la tabla 1, los ejemplos presentados muestran que los autores asocian el término material híbrido a la simple mezcla de un compuesto orgánico con uno inorgánico. La presencia de este concepto se hace evidente desde la metodología y se puede observar que en todos estos casos las técnicas de caracterización no están enfocadas en otorgar evidencia de la unión

molecular. Por ejemplo, en el artículo “Sílice activado con lignina y aminosilano como precursores en la producción de materiales híbridos” sólo se emplearon las técnicas de espectroscopia infrarroja (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (SEM), las cuales sólo nos otorgan información sobre la presencia o carencia de grupos funcionales y la morfología del material.

Tabla 2. Ejemplos de artículos donde la definición de material híbrido se apega a la IUPAC

Tema del artículo	Descripción del material	Técnicas de caracterización	Referencia
Materiales híbridos basados en ácido húmico (HA).	Materiales híbridos de uso potencial como adsorbentes para la eliminación de especies catiónicas o aniónicas y alternativa viable para eliminar contaminantes en ambientes naturales. Se demostró que el ácido húmico (HA) se ligó químicamente al alcóxido de silicio por enlace covalente entre los grupos carboxílicos del HA y los del material inorgánico.	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis elemental. Espectroscopía de rayos x de fluorescencia (XRF). • Espectroscopía infrarroja de reflectancia difusa (DRIFT). • Dispersión de rayos x de ángulo pequeño (SAX). • Microscopía electrónica de barrido (SEM) BET. 	Oliveira, Molina, Moura, de Faria, & Ciuffi, 2016.

Tema del artículo	Descripción del material	Técnicas de caracterización	Referencia
Híbridos de nanotubos de grafeno/carbono (G/SWCNT).	Híbrido que puede servir no sólo como un prototipo para arrojar luz sobre el principio químico de la síntesis G / CNT, sino también como una plataforma para aplicaciones adicionales en el área de los nanocompuestos, catálisis heterogénea, administración de medicamentos, y almacenamiento de energía electroquímica. La capa cíclica adicional de grafeno dentro del SWCNT se puede atribuir a la vacante en el grafeno donde se conecta al SWCNT por lo que se sospecha de una unión covalente C-C entre ambos compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopía electrónica de barrido (SEM). • Difracción de rayos x (XRD). • Microscopía electrónica de transmisión (TEM). • Difracción de electrones de área seleccionada (SAED). • Espectroscopía RAMAN TGA. 	Zhao et al., 2012.
Híbridos catiónicos de porfirina para fotoinactivación de microorganismos.	Nanopartículas magnéticas como plantilla para la dispersión de fotosensibilizadores como alternativa potencial para el tratamiento y erradicación cepas resistentes a los antibióticos, virus resistentes a los medicamentos antivirales clásicos, hongos y protozoos. Las porfirinas tienen un grupo pentafluorofenilo lo que permitió la unión covalente con el nanomagnetito.	<ul style="list-style-type: none"> • Espectroscopía UV/VIS. • Difracción de rayos x (XRD). • Microscopía electrónica de transmisión (TEM). 	Carvalho et al., 2010.
Síntesis enzimática del polímero funcional híbrido lignina-siloxano.	Este estudio combina las propiedades de los siloxanos y los polímeros de lignina para producir polímeros con funciones híbridas que se pueden utilizar como adhesivos, materiales de recubrimiento o revestimientos finos multifuncionalizados	<ul style="list-style-type: none"> • Resonancia magnética nuclear (RMN). • Difracción de rayos x (XRD). 	Prasetyo et al., 2012.
Híbridos de lignina-sílice como precursores del carburo de silicio.	Lignina, preparada al digerir el cedro con ácido acético y tetraetoxisilano se les ha permitido una reacción de sol-gel en tetrahidrofurano utilizando H2SO4 como catalizador para producir híbridos de lignina-SiO2 en forma de gel a granel.	<ul style="list-style-type: none"> • Resonancia magnética nuclear (RMN). • Espectroscopía infrarroja (FTIR). 	Hasegawa, Fujii, Yamada, Kariya, & Takayama, 1999.
Sílice activado con lignina y aminosilano como precursores en la producción de materiales híbridos.	El dióxido de silicio se funcionalizó inicialmente con aminosilano para activar la superficie, y luego el material basado en sílice se combinó con lignina oxidada usando peróxido de hidrógeno.	<ul style="list-style-type: none"> • Espectroscopía infrarroja (FTIR). • Microscopía electrónica de barrido (SEM). 	Klapiszewski et al., 2016.

Los autores de los artículos presentados en la tabla 2 hacen uso de la definición de material híbrido otorgada por la IUPAC, utilizando técnicas de caracterización que proporcionan información sobre la estructura química de los materiales y no sólo información sobre su morfología, tales como resonancia magnética nuclear (RMN) y análisis elemental. Por ejemplo, en el artículo “Materiales híbridos basados en ácido húmico (HA)”, además de estas técnicas, los autores también emplearon las técnicas de espectroscopía de rayos x de fluorescencia (XRF) y espectroscopía infrarroja de reflectancia difusa (DRIFT).

Un caso menos común se presenta en el artículo “Preparación y caracterización de compuestos de PVC/sílice-lignina” (Ł. Klapiszewski, Pawlak, Tomaszewska, & Jesionowski, 2015), en el cual los autores crearon un compuesto de PVC que contiene hasta 10 % en peso de relleno de sílice-lignina utilizando un método de procesamiento en estado fundido. Las técnicas de caracterización empleadas fueron microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis de índice de fluidez (MFR), las cuales sólo proporcionan información sobre la morfología y resistencia mecánica del material sin otorgar información sobre la estructura química del mismo. Lo interesante de este caso en particular es que los autores no definen si su material entra en la definición de material híbrido propuesta por la IUPAC o la definición de material híbrido según algunos libros de ciencias de los materiales.

Conclusiones

Al comparar y describir los artículos citados podemos observar que, en la mayoría de los manuscritos, desde el título y el resumen se hace uso de los términos “híbrido”, “material híbrido” o “materiales híbridos”. Este término es muy importante en textos relacionados con nuevos materiales o nanomateriales enfocados a ciencias de la salud, como los son: nuevos transportadores de fármacos, vendajes, prótesis, andamiajes para tejidos, entre otros.

En la mayoría de estos artículos, los autores están utilizando el término “material híbrido” correspondiente a la definición que se refiere a la unión de un material de origen orgánico y un material de origen inorgánico, la cual no nos otorga información sobre las interacciones químicas entre estos compuestos, mismo de lo que no se tiene manifiesto en dichos artículos ya que en la parte experimental, discusión de resultados o en las conclusiones no se menciona ni se describe el tipo de interacción existente (caso *a* en figura 1), pudiendo incluso ser una simple mezcla heterogénea, lo cual no empata con la definición IUPAC de material híbrido.

Mientras que, en otros artículos, podemos observar desde su descripción y en la discusión de resultados que existe una unión covalente entre ambos componentes, misma que es corroborada por las diferentes técnicas de caracterización utilizadas; en estos casos se aplica y se cumple con la definición dada por la IUPAC (caso *b* en figura 1).

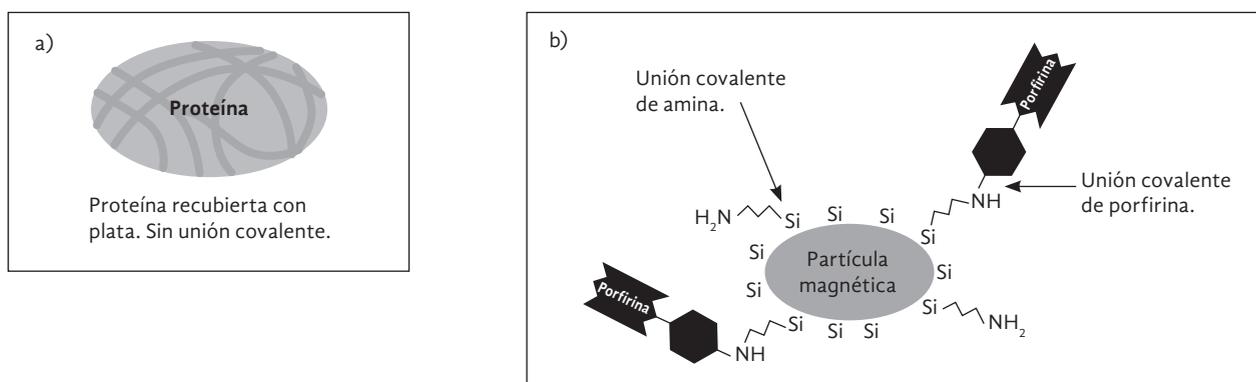


Figura 1. a) Representación de la proteína avidín con un depósito de plata metálica para recubrirla, adaptada de Mor, Vernick, Moscovich-Dagan, Dror, & Freeman, 2011. b) Partícula magnética con una amina covalentemente unida al silicio de la partícula magnética y ésta a su vez, covalentemente unida a una porfirina, adaptada de Carvalho et al., 2010.

Referencias

1. Alemán, J. V., Chadwick, A. V., He, J., Hess, M., Horie, K., Jones, R. G., *et al.* (2007). Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials (IUPAC Recommendations 2007). *Pure and Applied Chemistry*, 79(10), 1801–1829. <https://doi.org/10.1351/pac200779101801>
2. Askeland, D. R. & Phulé, P. P. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales* (Vol. 674). México: Thomson.
3. Carvalho, C. M., Alves, E., Costa, L., Tomé, J. P., Faustino, M. A., Neves, M. G., *et al.* (2010). Functional cationic nanomagnet-porphyrin hybrids for the photoinactivation of microorganisms. *ACS nano*, 4(12), 7133–7140.
4. Demel, J., Kubát, P., Millange, F., Marrot, J., Císařová, I. & Lang, K. (2013). Lanthanide-porphyrin hybrids: From layered structures to metal-organic frameworks with photophysical properties. *Inorganic Chemistry*, 52(5), 2779–2786. <https://doi.org/10.1021/ic400182u>
5. Hasegawa, I., Fujii, Y., Yamada, K., Kariya, C. & Takayama, T. (1999). Lignin-silica hybrids as precursors for silicon carbide. *Journal of Applied Polymer Science*, 73(7), 1321–1328. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19990815\)73:7<1321::AID-APP25>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990815)73:7<1321::AID-APP25>3.0.CO;2-0)
6. Klapiszewski, L., Szalaty, T. J., Zdarta, J. & Jesionowski, T. (2016). Activated lignin and aminosilane-grafted silica as precursors in hybrid material production. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52(1), 459–478. <https://doi.org/10.5277/ppmp160138>
7. Li, C., Wan, J., Pan, Y. T., Zhao, P. C., Fan, H. & Wang, D. Y. (2016). Sustainable, biobased silicone with layered double hydroxide hybrid and their application in natural-fiber reinforced phenolic composites with enhanced performance. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(6), 3113–3121. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00134>
8. Mor, G., Vernick, S., Moscovich-Dagan, H., Dror, Y. & Freeman, A. (2011). Novel biologically active silver-avidin hybrids. *Journal of Physical Chemistry C*, 115(46), 22695–22700. <https://doi.org/10.1021/jp203416v>
9. Oliveira, L. K. de, Molina, E. F., Moura, A. L. A., de Faria, E. H. & Ciuffi, K. J. (2016). Synthesis, Characterization, and Environmental Applications of Hybrid Materials Based on Humic Acid Obtained by the Sol-Gel Route. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(2), 1478–1485. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b10810>
10. Prasetyo, E. N., Kudanga, T., Fischer, R., Eichinger, R., Nyanhongo, G. S. & Guebitz, G. M. (2012). Enzymatic synthesis of lignin-siloxane hybrid functional polymers. *Biotechnology Journal*, 7(2), 284–292. <https://doi.org/10.1002/biot.201100106>
11. Quraishi, S., Martins, M., Barros, A. A., Gurikov, P., Raman, S. P., Smirnova, I., *et al.* (2015). Novel non-cytotoxic alginate–lignin hybrid aerogels as scaffolds for tissue engineering. *Journal of Supercritical Fluids*, 105(2015), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.12.026>
12. William, D. & Callister, J. (2002). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales (Volumen 1)*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S. A.
13. Zhao, M. Q., Liu, X. F., Zhang, Q., Tian, G. L., Huang, J. Q., Zhu, W. & Wei, F. (2012). Graphene/single-walled carbon nanotube hybrids: One-step catalytic growth and applications for high-rate Li-S batteries. *ACS Nano*, 6(12), 10759–10769. <https://doi.org/10.1021/nn304037d>