

¿En qué era tecnológica vivimos? La historia contada por los materiales

EMILYE ROSAS LANDA LOUSTAU

Doctora en Ciencia e Ingeniería de Materiales por la UNAM. Actualmente docente de cátedra del Tecnológico de Monterrey campus CDMX. Antigua profesora en el área de ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y apasionada permanente de la Ciencia de Materiales.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Desde que el ser humano existe, los materiales han sido clave para nuestro desarrollo. Ya sean naturales, como la madera y la piedra, o creados por nosotros, los materiales están en todo lo que hacemos y nos han permitido transformar nuestro entorno para vivir mejor. Entender cómo clasificamos y usamos los materiales hoy en día nos ayuda a imaginar cómo será el mundo material del futuro.

En las edades de piedra, bronce y hierro, nuestros ancestros usaron y adaptaron lo que la naturaleza les ofrecía para sobrevivir, pero esto cambió con la llegada de la era moderna. Por ejemplo, en 1907 se inventó el primer plástico artificial, la baquelita. Este material, resistente, barato y muy útil, revolucionó la vida diaria, impulsó la industria, mejoró la seguridad y abrió un mundo de posibilidades para crear nuevos plásticos. A finales del siglo pasado, el descubrimiento de los fulerenos y los nanotubos de carbono marcó un antes y un después en la ciencia de materiales. Ahora, somos capaces de diseñar y fabricar materiales con propiedades específicas para nuestras necesidades.

Antes de explorar los tipos de materiales, es importante entender qué es exactamente un material. Podemos definirlo como cualquier sustancia o parte de la materia con una composición y propiedades particulares, capaz de transformarse [1]. Mira a tu alrededor, ¿qué materiales identificas? Aunque no sepas su nombre, seguro puedes decir si es natural o artificial, o si es duro o flexible. Con esto, ya has reconocido algunas de sus propiedades ¡sin siquiera conocer su composición! Para organizarlos mejor, los materiales se clasifican según sus características físicas, mecánicas, químicas, económicas, tecnológicas y para qué se usan, creando así "catálogos" fáciles de consultar.

Los materiales de nuestros antepasados

Los primeros materiales que usó la humanidad fueron la piedra (hace más de 2 millones de años), la arena, la arcilla y la madera. Luego, hace unos 8000 años, aprendimos a trabajar los metales, comenzando con el cobre (8000 al 4500 a. C.), seguido del bronce (una aleación de cobre y estaño, 3150-1750 a. C.) y el hierro (1200-0 a. C.). Civilizaciones antiguas como los egipcios, persas y griegos mejoraron las técnicas para trabajar los metales y el vidrio. También aprendieron a moldear metales como el oro, la plata y el cobre, que pueden deformarse sin romperse. Tales de Mileto fue el primero en intentar clasificar los materiales según su composición química, considerando el agua como la base de todo. Aristóteles, por su parte, los clasificó en sólidos y no sólidos, basándose en lo que se podía apreciar a simple vista. Desde entonces, la idea de clasificar los materiales por sus características más evidentes ya existía. En la Edad Media (476 d. C. a 1492 d. C.), se perfeccionó el trabajo del hierro mediante la fundición y la forja, técnicas clave para fabricar herramientas, armas y objetos cotidianos. Aunque la coloración del vidrio era conocida por los romanos, fue en este periodo cuando se dominaron los procesos y su unión con plomo. La piedra, la madera, el vidrio, los metales preciosos, el hierro y el plomo fueron los materiales más importantes de esta época [2]. La tecnología de materiales se centró en mejorar cómo se hacían las cosas, pero aún no existían las bases científicas para cambiar las propiedades de los materiales.

La revolución de los materiales modernos

En el Renacimiento (siglos XIV al XVI), el arte con materiales como el mármol, el bronce y las pinturas al óleo nos hizo reconocer propiedades como la dureza, el envejecimiento y la maleabilidad. A partir de 1760, las revoluciones industriales impulsaron nuevas tecnologías. Esto llevó por ejemplo a la creación del acero, que superó al hierro por su resistencia, durabilidad y facilidad de producción. El gran cambio en la ciencia de los materiales llegó con el desarrollo de la física moderna en el siglo XVIII, pues al entender su estructura atómica, se les pudo clasificar en cinco grandes grupos: metales, semiconductores, cerámicos, polímeros y materiales compuestos. Esta clasificación se basa en comparar propiedades importantes como la resistencia a ser estirados, comprimidos, doblados o golpeados. La dureza y la elasticidad también son características relevantes. En cuanto a sus propiedades eléctricas, se consideraron principalmente la conductividad y la resistividad. Esta forma de clasificar ha sido muy útil para elegir el material adecuado para cada uso. Por ejemplo, sabemos que los polímeros se estiran más que los cerámicos antes de romperse, lo que los hace útiles para aplicaciones diferentes. Los cerámicos se usan donde se necesita mucha resistencia y rigidez, mientras que los polímeros son preferidos cuando se requiere flexibilidad y resistencia a los golpes. En cuanto a la electricidad, los metales son los mejores conductores y los polímeros los peores.

No se sabe exactamente cuándo se empezó a usar esta clasificación, pero la Sociedad de Investigación en Materiales (MRS) fundada en 1973 en Estados Unidos de Norteamérica, ya la utilizaba en sus reuniones. Aunque fue muy útil, hoy en día se ha quedado un poco corta. Por ejemplo, existen cerámicas elásticas

de alúmina y polímeros con una dureza casi como la del diamante [3]. Entonces, si ahora podemos diseñar y fabricar nuestros propios materiales ¿cómo los clasificaremos en el futuro? Para responder a esto, se han propuesto nuevas formas de clasificación. Es importante saber que algunos materiales pueden pertenecer a varias categorías al mismo tiempo.

Materiales para cada función

Los *materiales funcionales* se agrupan según las industrias que los utilizan, como la aeroespacial o la de la salud [1]. Los materiales aeroespaciales, por ejemplo, deben ser ligeros, resistir temperaturas extremas, la corrosión y tener una gran resistencia. Algunos ejemplos son los aleaciones de aluminio y titanio, el acero inoxidable, la fibra de carbono reforzada con polímeros (ver figura 1), la fibra de vidrio y el kevlar (un polímero sintético muy resistente). Los *biomateriales* son otro tipo de material funcional, diseñados para interactuar con el cuerpo humano. Deben ser compatibles con los tejidos vivos y tener una resistencia similar a la de los huesos. El colágeno y el quitosano son biopolímeros, mientras que la alúmina y la hidroxiapatita son biocerámicas usadas en medicina regenerativa. En cuanto a los metales, los más usados en medicina son el titanio, el acero inoxidable y las aleaciones de cobalto-cromo [4]. Los *materiales estructurales* son otro ejemplo, ya que su función es dar fuerza,

resistencia y estabilidad a una construcción. El acero, la madera, el concreto y el aluminio son algunos de los más comunes.

Materiales con superpoderes: los materiales avanzados

Los *materiales avanzados* son aquellos creados con propiedades mucho mejores que las de los materiales tradicionales, ya sean físicas, químicas, mecánicas o funcionales. Su estructura y composición suelen ser complejas y se fabrican para cumplir una función específica y tener un rendimiento superior. Algunos ejemplos son los compuestos de fibra de carbono (más resistentes que el acero), los materiales con memoria de forma (que vuelven a su forma original al calentarse) y los superconductores de alta temperatura (que conducen electricidad a temperaturas más altas de lo normal). El término "materiales avanzados" comenzó a usarse alrededor de 1950, pero se definió oficialmente en 1987 y en 1989 se creó la revista especializada *Advanced Materials*. Un tipo especial de materiales avanzados muy modernos son los *materiales topológicos* o *cuánticos*. Este nombre se empezó a usar hace unos 40 años para hablar de materiales con propiedades eléctricas y magnéticas muy raras, debido a la forma en que están organizados sus electrones [5]. Estos materiales cuánticos se pueden clasificar según cómo estén colocados sus átomos: en



FIGURA 1. IMAGEN CREADA por copilot representando a la fibra de carbono y grafeno, materiales funcionales y avanzados muy conocidos.

puntos (como bolitas), en líneas (como tubos), en capas (como hojas) o en tres dimensiones (como un bloque). Algunos ejemplos conocidos son los *puntos cuánticos*, los *nanotubos* y el *grafeno* (ver figura 1). Se cree que estos materiales topológicos serán muy importantes en el futuro para cosas como las computadoras cuánticas (mucho más potentes), la medicina y nuevos aparatos electrónicos.

Materiales que reaccionan: los materiales inteligentes

Los *materiales inteligentes* o *adaptativos* tienen una o más propiedades que pueden cambiar significativamente de manera controlada por un estímulo externo (como fuerza, temperatura, humedad, acidez o campos eléctricos o magnéticos) y pueden volver a su estado original. Algunos ejemplos son los *materiales piezoeléctricos*, los que tienen memoria de forma y los *termocrómicos*. El nítinol fue uno de los primeros "materiales inteligentes" (ver figura 2). Se descubrió por casualidad en los años 60 y es una mezcla de níquel y titanio. Lo especial es que puede "recordar" su forma original y volver a ella cuando se calienta después de doblarse. A principios de los años 2000 se creó otro material adaptativo impresionante: el concreto autoreparable. Contiene bacterias que se activan cuando el concreto se agrieta, consumen un compuesto dentro del concreto y producen carbonato de calcio,



FIGURA 2. ILUSTRACIÓN creada con copilot sobre los materiales inteligentes y metamateriales.

una sustancia que rellena y sella las grietas. Las ventanas inteligentes son otra aplicación de estos materiales. Son cristales con recubrimientos especiales que cambian con la temperatura, controlando la cantidad de luz solar que entra en los edificios [6].

Diseñando lo invisible: los metamateriales

El término *metamateriales* se aceptó oficialmente alrededor del año 2000, aunque se les imaginó desde 1967. Se refiere a materiales diseñados para manipular ondas electromagnéticas. Hacer objetos invisibles y controlar el sonido son algunas de sus aplicaciones más interesantes, aunque pueden controlar cualquier tipo de onda electromagnética o mecánica.

En las capas de invisibilidad, por ejemplo, la idea es que la estructura del material cambie la dirección de la luz para que rodee el objeto y lo oculte. En el control del sonido, investigaciones muestran que los metamateriales podrían mejorar la acústica de salas de conciertos, reducir el ruido en las industrias o controlar la intensidad del sonido en edificios [7].

Cuando muchos se unen: los materiales complejos

La definición de *material complejo* puede variar según el área de estudio. En general, se considera que un material es complejo si tiene muchos elementos químicos y una estructura interna detallada, con huecos y zonas que pueden ser iguales o diferentes. Otra definición destaca que estos materiales pueden tener *propiedades emergentes*, es decir, propiedades nuevas que no tienen los elementos por separado y que surgen de cómo interactúan entre sí. Por ejemplo, recientemente se encontraron óxidos de magnesio, níquel, cobalto, cobre y zinc que son estables a altas temperaturas. Estos materiales tienen propiedades eléctricas y magnéticas diferentes a las de los metales que los forman, lo que muestra que al combinarse surgen propiedades únicas [8].

El futuro en nuestras manos: la inteligencia artificial en la ciencia de materiales

¿Qué nuevos materiales desarrollaremos? ¿Cómo los diseñaremos? ¿Qué propiedades serán importantes en el siglo XXI? La ciencia

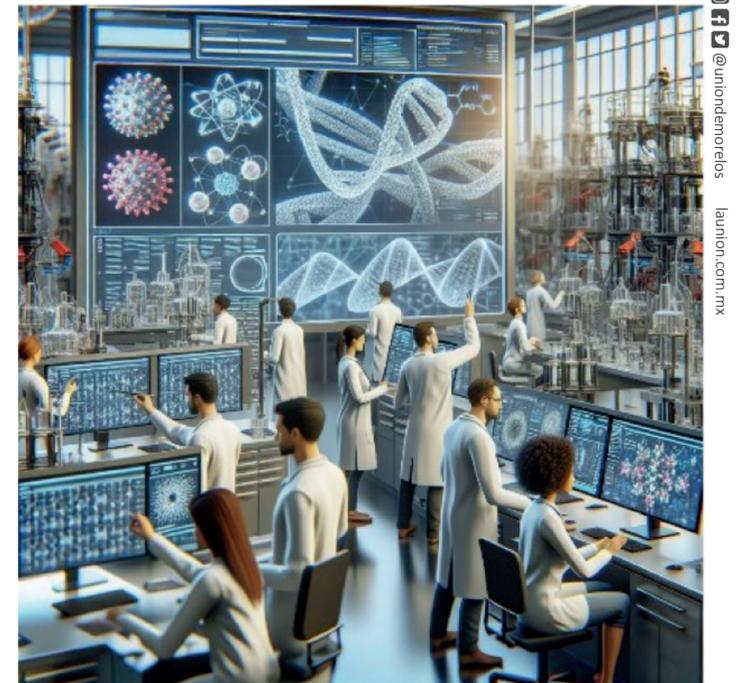


FIGURA 3. REPRESENTACIÓN de la IA en la ciencia de materiales. La imagen fue generada por copilot.

"identificadores moleculares", que son representaciones numéricas o simbólicas de la estructura de una molécula. Estos identificadores permiten que los algoritmos de aprendizaje automático y profundo "entiendan" y procesen la información sobre las moléculas. En estos identificadores se codifican numéricamente propiedades como el tamaño, la forma y la polaridad de la molécula, llevando la caracterización del material a otro nivel. Es decir, las propiedades físicas y químicas de las moléculas que forman el material dejan de ser explícitas y se representan mediante un código. Considerando toda la información y las herramientas de IA disponibles, estamos a punto de dar un gran paso conceptual. Creo que en el futuro cercano ya no clasificaremos los materiales de forma aislada. Entendemos que sus propiedades no son fijas, sino que cambian según la escala y las interacciones con otros "sistemas físicos". Quizás en el futuro, la IA, la ciencia de materiales y la teoría de la complejidad trabajen juntas para diseñar materiales basados en interacciones "simbióticas" entre sistemas, con el objetivo de obtener una propiedad emergente local. Quizás la biomimética (copiar soluciones de la naturaleza) se vuelva más importante, o quizás los materiales que diseñemos creen una nueva naturaleza artificial.

Bibliografía

- [1] Askeland, D. R., & Phule, P. P. (2008). *The science and engineering of materials (6th ed.)*. Thomson Learning.
- [2] Sass, S. L. (2011). *The substance of civilization: Materials from the Stone Age to the age of silicon*. Arcade Publishing.
- [3] Bartolomé, F., Damborenea, J. J. de, Fierro, J. L. G., Figueras, A., González de la Campa, J., Hernando, A., Mijangos, C. (coord.), Moya, J. S. (coord.), Pascual, J., San Román, J., & Zaldo, C. (2007). *Nuevos materiales en*

la sociedad del siglo XXI. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). <http://www.ciudadciencia.es/doc/files/Nuevos%20Materiales.pdf>

[4] Park, J. B., & Lakes, R. S. (2007). *Biomaterials: An introduction* (3rd ed.). Springer.

[5] Bradlyn, B., Elcoro, L., Cano, J., Vergniory, M. G., Wang, Z., Felser, C., Aroyo, M. I., & Bernevig, B. A. (2017). *Topological quantum chemistry*. Nature, 547 (7663), 298–305. <https://doi.org/10.1038/nature23268>

[6] Xuanjie Wang and Shankar Narayan. *Thermochromic Materials for Smart Windows: A State-of-Art Review*. Front. Energy Res., 08 December 2021, Volume 9 - 2021 | <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.800382>

[7] Zhang, X., Liu, Z. Superlenses to overcome the diffraction limit. Nature Mater 7, 435–441 (2008). <https://doi.org/10.1038/nmat2141>

[8] Sarkar, A., Velasco, L., Wang, D., Wang, Q., Talasila, G., de Biasi, L., Kübel, C., Brezinskii, T., Bhattacharya, S. S., Hahn, H., & Breitung, B. (2018). *High entropy oxides for reversible energy storage*. Nature Communications, 9(1), 3400. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05774-5>

[9] Hill, J., Mulholland, G., Persson, K., Seshadri, R., Wolverton, C., & Meredig, B. (2016). *Materials science with large-scale data and informatics: Unlocking new opportunities*. MRS Bulletin, 41(5), 399–409. <https://doi.org/10.1557/mrs.2016.93>

Esta columna se prepara y edita semana a semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.