

Avances en materiales compuestos basados en nanotecnología para aplicaciones industriales

Mario Augusto Rivera Valenzuela*
<https://orcid.org/0000-0003-3088-0654>
mariverav@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador
Quito-Ecuador

*Correspondencia: mariverav@uce.edu.ec

Received (30/04/2024), Accepted (25/05/2024)

Resumen: Este trabajo tuvo como finalidad evaluar la aplicabilidad y beneficios de los materiales compuestos en diversos contextos industriales. A través de encuestas realizadas a tres industrias mineras y dos del sector eléctrico, se analizaron aspectos como la frecuencia de uso de diferentes materiales compuestos, los beneficios percibidos y los principales desafíos enfrentados en su implementación. Los resultados mostraron una alta preferencia por la fibra de carbono y los polímeros debido a su resistencia y ligereza, destacándose también la importancia de la durabilidad y la reducción de peso como beneficios clave. Sin embargo, el costo elevado y la disponibilidad de materiales fueron identificados como los principales desafíos. Estos hallazgos subrayan la necesidad de continuar invirtiendo en investigación y desarrollo para mejorar la accesibilidad y reducir los costos, optimizando así el uso de materiales compuestos en la industria.

Palabras clave: materiales compuestos, aplicaciones industriales, nanotecnología, análisis de materiales.

Advances in composite materials based on industrial applications

Abstract. - This work aimed to evaluate the applicability and benefits of composite materials in various industrial contexts. Through surveys carried out in three mining industries and two in the electricity sector, aspects such as the frequency of use of different composite materials, the perceived benefits, and the main challenges faced in their implementation were analyzed. The results showed a high preference for carbon fiber and polymers due to their strength and lightness, highlighting the importance of durability and weight reduction as key benefits. However, high cost and availability of materials were identified as the main challenges. These findings underscore the need to continue investing in research and development to improve accessibility and reduce costs, optimizing the use of composite materials in industry.

Keywords: composite materials, industrial applications, nanotechnology, materials analysis

I. INTRODUCCIÓN

La evolución de los materiales compuestos ha sido una de las áreas más dinámicas y prometedoras en la ciencia de materiales, especialmente con la integración de la nanotecnología. Los materiales compuestos basados en nanotecnología han mostrado un potencial significativo para revolucionar diversas aplicaciones industriales debido a sus propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas mejoradas. Estos materiales están diseñados a partir de la incorporación de nanoestructuras, como nanotubos de carbono, nanopartículas y nano fibras, en matrices poliméricas, metálicas o cerámicas, resultando en materiales con características únicas que no pueden ser logradas con componentes individuales.

La incorporación de nanotubos de carbono, por ejemplo, ha demostrado mejorar significativamente la resistencia y la rigidez de los materiales compuestos, manteniendo al mismo tiempo una baja densidad. Esto se debe a las extraordinarias propiedades mecánicas de los nanotubos de carbono, que incluyen una alta relación de aspecto y una resistencia específica elevada [1]. Además, las nanopartículas metálicas han sido ampliamente estudiadas por su capacidad para mejorar las propiedades térmicas y eléctricas de los materiales compuestos, haciendo posible su uso en aplicaciones donde se requiere una alta conductividad térmica y eléctrica [2].

Las aplicaciones industriales de estos materiales compuestos son vastas y diversas. En la industria aeroespacial, por ejemplo, la demanda de materiales ligeros pero fuertes es crítica, y los compuestos basados en nanotecnología pueden ofrecer soluciones superiores en términos de rendimiento y eficiencia de combustible [3]. De igual manera, en la industria automotriz, estos materiales pueden ser utilizados para fabricar componentes más ligeros y duraderos, contribuyendo a una mayor eficiencia energética y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero [4].

De esta manera podemos afirmar que los materiales compuestos basados en nanotecnología representan una revolución en el diseño y desarrollo de nuevos materiales para aplicaciones industriales. La capacidad de estos materiales para combinar propiedades superiores de resistencia, ligereza y conductividad abre nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y el rendimiento en múltiples sectores industriales.

II. DESARROLLO

En esta sección se incluyen los aspectos que fundamentan la investigación, partiendo de una revisión de literatura y siguiendo con las principales características de ciertos materiales.

A. Revisión de la literatura

Niculescu et al [5] presentan los avances recientes en el uso de compuestos magnéticos para la descontaminación del agua. Los autores se centran en la integración de nanopartículas magnéticas en diversos materiales compuestos, destacando sus propiedades únicas que los hacen efectivos para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua. Además, abordan varios tipos de materiales base, incluidos compuestos de carbono, polímeros, hidrogeles, aerogeles, sílica, arcilla, biochar, estructuras metal-orgánicas y estructuras orgánicas covalentes, y describen cómo estos compuestos han demostrado capacidades de adsorción prometedoras para diversos contaminantes industriales.

Adicional, los autores exploran la integración de nanomateriales magnéticos, como nanopartículas de hierro, cobalto y níquel, en matrices poliméricas y de carbono, es un claro ejemplo de cómo la nanotecnología puede mejorar significativamente las propiedades de los materiales compuestos [5]. Destacan que estos compuestos magnéticos no solo son eficaces en la adsorción de contaminantes, sino que también permiten una fácil separación y recuperación de los materiales adsorbentes mediante la aplicación de un campo magnético externo, lo que representa una ventaja considerable sobre las técnicas convencionales de tratamiento de aguas.

Otras investigaciones [6] ofrecen una visión integral sobre los avances recientes en el uso de materiales compuestos magnéticos para la descontaminación del agua. Estos compuestos, que incorporan nanopartículas magnéticas en matrices de carbono, polímeros, hidrogeles, aerogeles, sílica, arcilla, biochar y estructuras organometálicas, han mostrado una notable capacidad de adsorción para eliminar contaminantes industriales, incluidos metales pesados y compuestos orgánicos. La relevancia de este trabajo radica en su enfoque en la multifuncionalidad de los nanomateriales magnéticos, que no solo mejoran la eficiencia de adsorción, sino que también permiten una fácil separación y recuperación de los adsorbentes mediante campos magnéticos externos, reduciendo así los costos y el impacto ambiental de los procesos de tratamiento de agua.

La integración de nanomateriales magnéticos en matrices compuestas representa una aplicación innovadora de la nanotecnología en el desarrollo de materiales avanzados [6]. Este enfoque es particularmente relevante para el campo de los materiales compuestos, ya que combina las propiedades superiores de los nanomateriales con la versatilidad y funcionalidad de las matrices tradicionales. Estos avances no solo tienen implicaciones significativas para la industria del tratamiento de agua, sino que también abren nuevas oportunidades para el desarrollo de tecnologías de purificación más efectivas y ecológicas.

Autores como Chaudhary et al [7] examinan los desarrollos recientes en el uso de empaques biogénicos inteligentes, destacando su potencial para transformar la industria de empaques de alimentos. La investigación se enfoca en la integración de biopolímeros naturales y la intervención de la nanotecnología para crear materiales compuestos avanzados que son ligeros, de alto rendimiento y amigables con el medio ambiente [8]-[10]. Estos desarrollos no solo mejoran la funcionalidad y la durabilidad de los empaques, sino que también abren la puerta a nuevas aplicaciones, como los sistemas de empaque activos e inteligentes que pueden monitorear y preservar la calidad de los alimentos en tiempo real.

Asimismo, estos autores muestran cómo la combinación de biopolímeros naturales y tecnologías avanzadas, como la nanotecnología y la encapsulación, puede dar lugar a nuevos materiales con propiedades mejoradas y funcionalidades avanzadas [7]. Estos materiales compuestos no solo abordan los desafíos de sostenibilidad y reducción de residuos, sino que también proporcionan soluciones innovadoras para la industria del empaque de alimentos, mejorando la seguridad alimentaria y extendiendo la vida útil de los productos. La integración de biosensores en los sistemas de empaque, por ejemplo, permite la detección de patógenos y aditivos nocivos, asegurando así la calidad y seguridad de los alimentos.

Por otra parte, Bernardo-Arugay et al [8] hacen una evaluación detallada de las propiedades físicas y químicas de varios minerales de silicato en la región sur de Filipinas, con el objetivo de determinar su viabilidad como materias primas para la producción de diversos productos cerámicos. Los autores examinan la arcilla roja de Linamon, la ceniza negra de Salvador y la tierra de diatomeas de Kapatagan, analizando características como la distribución del tamaño de las partículas, los límites de Atterberg, las propiedades térmicas, las morfologías y las composiciones mineralógicas.

Los autores [8] demuestran cómo los recursos minerales locales pueden ser optimizados para aplicaciones industriales, reduciendo la dependencia de materias primas importadas y promoviendo el desarrollo económico sostenible. La caracterización exhaustiva de estos minerales no solo proporciona una base para su uso eficiente en la industria cerámica, sino que también abre oportunidades para la innovación en materiales compuestos. La investigación subraya la importancia de la sinergia entre las propiedades inherentes de los minerales y las técnicas avanzadas de procesamiento, lo que puede conducir a la creación de nuevos materiales compuestos con propiedades mejoradas para aplicaciones específicas en la industria de la cerámica y más allá.

B. Aspectos teóricos

Los materiales compuestos nanotecnológicos son una clase avanzada de materiales que combinan una matriz de material tradicional con nanoestructuras, como nanopartículas, nanotubos, nanofibras, y otros nanomateriales. Estos compuestos se diseñan para aprovechar las propiedades únicas de los nanomateriales, lo que resulta en mejoras significativas en las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas del material compuesto final.

Propiedades Mecánicas Mejoradas

La incorporación de nanotubos de carbono o nano fibras de carbono puede aumentar significativamente la resistencia y rigidez de los materiales compuestos, sin añadir un peso considerable. Estos nanomateriales tienen una resistencia específica y módulo de elasticidad extremadamente altos, lo que contribuye a la mejora global del material compuesto [1]. Por otra parte, las nanopartículas cerámicas pueden mejorar la dureza y la resistencia al desgaste de las matrices poliméricas o metálicas.

Propiedades Térmicas y Eléctricas

Las nanopartículas metálicas, como las de plata o cobre, pueden aumentar la conductividad térmica del material compuesto, lo cual es beneficioso en aplicaciones donde la disipación de calor es crucial [2]. Además, la integración de nanotubos de carbono o grafeno puede mejorar la conductividad eléctrica de los materiales compuestos, haciéndolos útiles en aplicaciones electrónicas y de almacenamiento de energía.

Propiedades funcionales

Algunos materiales compuestos nanotecnológicos tienen capacidades de autorreparación, donde las nanoestructuras pueden ayudar a reparar daños o grietas en la matriz. Además, las nanopartículas pueden mejorar la resistencia a la corrosión de los metales, lo que extiende la vida útil de los componentes en ambientes agresivos.

Este tipo de materiales tiene importantes aplicaciones industriales, que abarcan una rama amplia de usos relevantes en el desarrollo de diferentes industrias. En la industria aeroespacial, los materiales compuestos nanotecnológicos se utilizan en la industria aeroespacial para fabricar componentes estructurales ligeros y extremadamente fuertes. Esto ayuda a reducir el peso total de las aeronaves, mejorando la eficiencia del combustible y reduciendo las emisiones [3]. Por otra parte, en la industria automotriz, estos materiales se utilizan para fabricar piezas más ligeras y duraderas. Los compuestos nanotecnológicos pueden mejorar la eficiencia energética de los vehículos y aumentar la resistencia al impacto y la fatiga [4].

Por su parte, en el sector electrónico, los materiales con alta conductividad eléctrica y térmica son esenciales en la fabricación de dispositivos electrónicos, desde microchips hasta baterías avanzadas. Los nanocompuestos pueden mejorar el rendimiento y la vida útil de estos dispositivos. Mientras que, en el ámbito biomédico, los materiales compuestos nanotecnológicos se utilizan en dispositivos médicos y en la liberación controlada de fármacos, aprovechando las propiedades de biocompatibilidad y funcionalidad de los nanomateriales.

Desafíos y Perspectivas Futuras

A pesar de sus ventajas, los materiales compuestos nanotecnológicos enfrentan desafíos en términos de fabricación, costos y escalabilidad. La integración uniforme de nanomateriales en matrices tradicionales y el control de las propiedades a escala nanométrica son áreas de investigación activa. Además, se están explorando métodos más sostenibles y económicos para la producción en masa de estos materiales. En el futuro, la continua investigación y desarrollo en nanotecnología promete expandir las aplicaciones de los materiales compuestos nanotecnológicos, haciendo posible la creación de materiales con propiedades "a medida" para satisfacer necesidades específicas en una amplia gama de industrias.

III. METODOLOGÍA

En este trabajo se ha realizado una metodología empírica en diferentes empresas e industrias, para conocer los diferentes avances en materiales que se usan en la producción. Para ello se ha realizado una encuesta a expertos y personal de áreas específicas en la industria, que trabajan de forma directa en la producción específica. Entre las industrias consultadas se encuentran tres industrias mineras, dos industrias del sector eléctrico.

Las características de la encuesta realizada se describen en la tabla 1. Se puede observar que en la industria minera el principal uso es para protección y recubrimientos, mientras que en la industria eléctrica es usado para complementos de los equipos eléctricos. La encuesta estuvo centrada en conocer las aplicaciones de los materiales en el ambiente industrial, así como la frecuencia de uso de estos materiales, la identificación de los materiales, así como las percepciones de los encuestados en cuanto a los beneficios y desafíos del uso de materiales.

Tabla 1. Encuesta realizada en la industria

Industria	Número de encuestados	Alpha de Cronbach	Usos de materiales compuestos
Minera A	42	0.85	Refuerzo estructural, recubrimiento resistente a la corrosión
Minera B	48	0.88	Componentes de maquinaria, recubrimiento anti abrasivo
Minera C	53	0.87	Soportes de transporte, revestimientos protectores
Eléctrica A	47	0.82	Aislamiento térmico, carcasa de equipos eléctricos
Eléctrica B	49	0.84	Componentes de transformadores, recubrimiento conductivo

Hipótesis de Estudio

Hipótesis nula (H0): No hay diferencias significativas en la consistencia interna (Alpha de Cronbach) entre las industrias mineras y las industrias del sector eléctrico.

Hipótesis alternativa (H1): Hay diferencias significativas en la consistencia interna (Alpha de Cronbach) entre las industrias mineras y las industrias del sector eléctrico.

Análisis Estadístico

Cálculo del Promedio y Desviación Estándar del Alpha de Cronbach:

- Para las industrias mineras: Minera A, Minera B, Minera C
- Para las industrias del sector eléctrico: Eléctrica A, Eléctrica B

Prueba t para muestras independientes:

- Comparar las medias del Alpha de Cronbach entre las dos categorías de industrias.

III. RESULTADOS

A. Resultados estadísticos

Industria Minera:

- Promedio del Alpha de Cronbach: 0,8667
- Desviación Estándar del Alpha de Cronbach: 0,0153

Industria Eléctrica:

- Promedio del Alpha de Cronbach: 0,83
- Desviación Estándar del Alpha de Cronbach: 0,0141

Prueba t para muestras independientes

Media1 (mineras)= 0,8667, SD1= 0,0153, n1= 3

Media2 (eléctricas)= 0,83, SD1= 0,0141, n1= 2

$$t = \frac{0,8667 - 0,83}{\sqrt{\frac{0,0153^2}{3} + \frac{0,0141^2}{2}}} = 2,76$$

Con los grados de libertad (df) aproximados mediante la fórmula de Welch para muestras con varianzas desiguales, $df=3,68$. Usando una tabla de distribución t con $df = 3,68$ y un nivel de significancia de 0.05, se obtiene un valor crítico de t aproximadamente de 2,353.

Dado que el valor calculado de t (2.76) es mayor que el valor crítico de t (2.353), rechazamos la hipótesis nula. Esto sugiere que hay diferencias significativas en la consistencia interna de las respuestas (Alpha de Cronbach) entre las industrias mineras y las industrias del sector eléctrico.

Este análisis demuestra que los materiales compuestos se utilizan de manera diferente y con diversos niveles de consistencia en la percepción y aplicación entre diferentes sectores industriales, destacando la importancia de considerar el contexto industrial en el desarrollo y aplicación de estos materiales.

Por otro lado, en la encuesta se consultó sobre la frecuencia de uso de cada tipo de material compuesto por industria (Fig. 2), donde se observó que los principales materiales fueron fibra de carbono, fibra de vidrio, nanocompuestos, materiales basados en polímeros, materiales basados en metal.

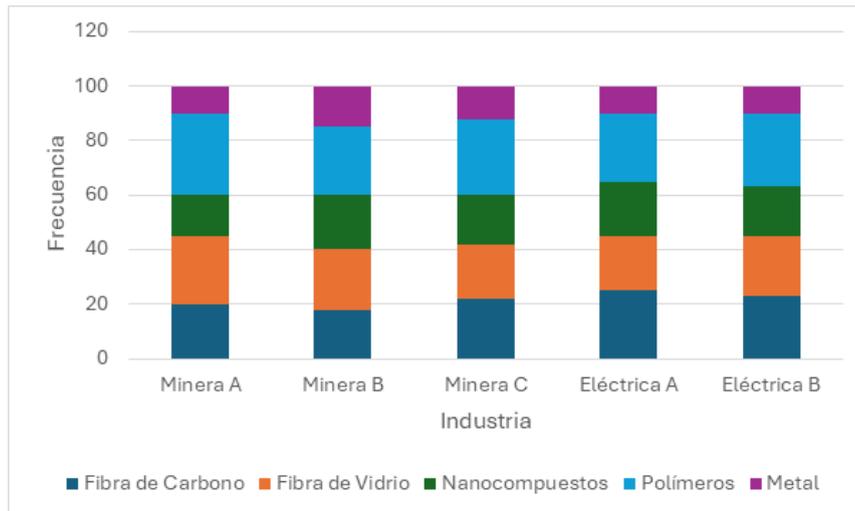


Fig. 2. Frecuencia de uso de cada tipo de material compuesto por industria

Por otra parte, se consultó sobre la percepción de los beneficios al usar materiales compuestos, encontrando los resultados mostrados en la fig. 3. Estos datos representan la cantidad de encuestados que perciben cada beneficio como el más destacado al usar materiales compuestos.

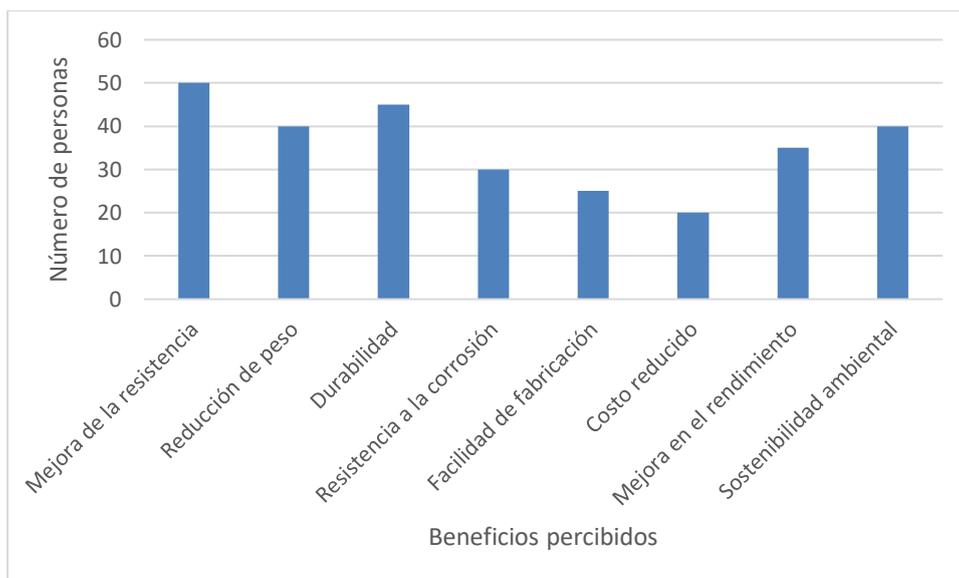


Fig. 3. Percepción encontrada por los encuestados en relación con los beneficios del uso de materiales compuestos.

Por último, en la encuesta realizada se evaluaron los desafíos que los expertos y personal del área considera que deben enfrentar para mejorar las aplicaciones de material compuesto (fig.4).

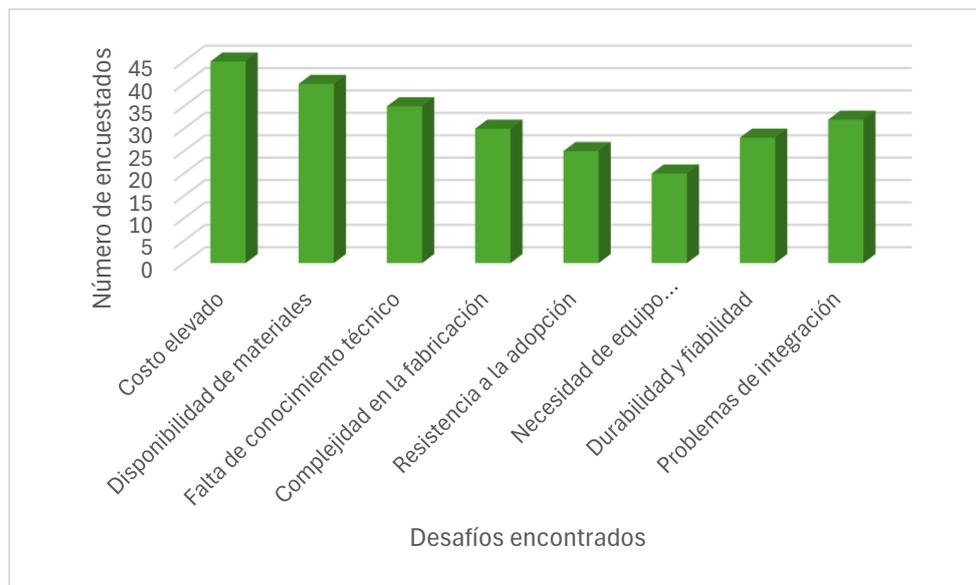


Fig. 4. Desafíos encontrados en la percepción de expertos y personal calificado sobre el uso industrial de materiales compuestos.

CONCLUSIONES

Se observó que tanto las industrias mineras como las eléctricas utilizan una variedad de materiales compuestos, pero con ciertas preferencias notables. En este sentido, la fibra de carbono y los polímeros son los materiales más utilizados en ambas industrias, destacándose por su alta frecuencia de uso. Esto puede atribuirse a sus propiedades superiores de resistencia y ligereza, que son críticas en aplicaciones industriales. Las industrias mineras también muestran un uso considerable de fibra de vidrio y nanocompuestos, lo que indica una tendencia hacia la integración de materiales avanzados que pueden mejorar la durabilidad y la eficiencia operativa. En contraste, las industrias eléctricas muestran una preferencia ligeramente menor por los nanocompuestos y los materiales metálicos, lo que sugiere un enfoque más conservador en la adopción de tecnologías emergentes. Este análisis destaca la importancia de los materiales compuestos en mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en aplicaciones industriales clave.

Los resultados muestran que la mejora de la resistencia es el beneficio más valorado, seguido de cerca por la durabilidad y la reducción de peso. Estos beneficios son fundamentales para aplicaciones industriales que requieren materiales que puedan soportar condiciones extremas y prolongar la vida útil de los productos. La resistencia a la corrosión y la sostenibilidad ambiental también son percibidos como beneficios importantes, reflejando una creciente conciencia sobre la necesidad de materiales que puedan contribuir a prácticas industriales más ecológicas. La facilidad de fabricación y el costo reducido son menos valorados, lo que sugiere que, aunque los materiales compuestos ofrecen ventajas significativas, aún existen desafíos relacionados con la producción y los costos que deben ser abordados. Este análisis resalta la necesidad de continuar mejorando las tecnologías de fabricación de materiales compuestos para maximizar sus beneficios y minimizar sus limitaciones.

En cuanto a los desafíos que enfrenta la industria, se observó el costo elevado es el mayor obstáculo, seguido de la disponibilidad de materiales y la falta de conocimiento técnico. Estos desafíos subrayan la necesidad de invertir en investigación y desarrollo para reducir los costos de producción y mejorar la accesibilidad de los materiales compuestos. La complejidad en la fabricación y la necesidad de equipo especializado también son desafíos significativos, lo que indica que las industrias requieren tecnologías de fabricación más avanzadas y capacitación técnica para optimizar el uso de materiales compuestos. La resistencia a la adopción y los problemas de integración reflejan una cierta inercia organizacional y técnica que debe ser superada para facilitar una transición más fluida hacia el uso de estos materiales. Este análisis sugiere que, aunque los materiales compuestos ofrecen numerosas ventajas, es crucial abordar estos desafíos mediante estrategias de educación, inversión en tecnología y desarrollo de políticas que promuevan su adopción industrial.

REFERENCIAS

- [1] S. Iijima, "Helical microtubules of graphitic carbon," *Nature*, vol. 354, no. 6348, pp. 56-58, 1991.
- [2] J. Kreuter, "Nanoparticles—a historical perspective," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 331, no. 1, pp. 1-10, 2007.
- [3] E. T. Thostenson, Z. Ren, and T. W. Chou, "Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review," *Composites Science and Technology*, vol. 65, no. 3-4, pp. 491-516, 2005.
- [4] G. Wegner and V. K. Gupta, "Nanocomposite materials," *Nanocomposites: Science and Technology*, pp. 223-232, 2010.
- [5] A.-G. Niculescu, B. Mihaiescu, D. E. Mihaiescu, T. Hadibarata, and A. M. Grumezescu, "An Updated Overview of Magnetic Composites for Water Decontamination," *Polymers*, vol. 16, no. 5, p. 709, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/polym16050709>.
- [6] G. F. Huseien, "Potential Applications of Core-Shell Nanoparticles in Construction Industry Revisited," *Applied Nano*, vol. 4, no. 2, pp. 75-114, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/applnano4020006>.
- [7] P. C. Nath et al., "Biogeneration of Valuable Nanomaterials from Agro-Wastes: A Comprehensive Review," *Agronomy*, vol. 13, no. 2, p. 561, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020561>.
- [8] I. C. Bernardo-Arugay et al., "Evaluation of Linamon Red Clay, Salvador Black Cinder and Kapatagan Diatomaceous Earth of the Southern Philippines," *Minerals*, vol. 13, no. 2, p. 252, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/min13020252>.
- [9] M. Krystyan et al., "Polysaccharides Composite Materials as Carbon Nanoparticles Carrier," *Polymers*, vol. 14, no. 5, p. 948, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/polym14050948>.
- [10] V. Chaudhary, S. P. Bangar, N. Thakur, and M. Trif, "Recent Advancements in Smart Biogenic Packaging: Reshaping the Future of the Food Packaging Industry," *Polymers*, vol. 14, no. 4, p. 829, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/polym14040829>.