



CIENCIAS BÁSICAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 2, abril-junio 2026

<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.02.bas.01>

e0402BAS01

CIENCIA VITAL

Revista de Divulgación Científica de la UACJ
ISSN: 2603-7944

Energía del desierto, supercapacitores flexibles a base de nopal

Karen Ayala Martinez¹

Mtro. Jorge Arredondo-Espínola²

Dr. Noé Arjona³

Dra. Minerva Guerra Balcázar^{4*}

¹ Universidad Autónoma de Querétaro

² Centro de Investigación en Materiales Avanzados

³ Centro de Investigación en Materiales Avanzados
<https://orcid.org/0000-0002-4136-4738>

⁴ Universidad Autónoma de Querétaro <https://orcid.org/0000-0002-0650-335X>



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES

RESUMEN

El almacenamiento de energía proveniente de fuentes renovables, como el sol y el viento, representa uno de los principales desafíos tecnológicos actuales. Una alternativa prometedora son los supercapacitores, dispositivos capaces de cargarse rápidamente y liberar energía de forma eficiente. En este contexto, el nopal ha despertado interés científico debido a que puede transformarse en biocarbón, un material conductor con propiedades adecuadas para fabricar supercapacitores flexibles utilizados en dispositivos electrónicos y tecnologías portátiles. Además de aprovechar un recurso abundante y de bajo impacto ambiental, esta propuesta contribuye al desarrollo de sistemas energéticos más sostenibles y accesibles. El uso del nopal no solo reduce residuos agrícolas, sino que también impulsa nuevas aplicaciones para las energías renovables en regiones áridas y con escasez de agua. Este artículo explora cómo una planta emblemática de México podría convertirse en parte clave de las tecnologías energéticas del futuro.

Introducción

El avance tecnológico ha tenido como resultado la búsqueda del confort en la vida del ser humano, mejorando la calidad de vida y facilitando las actividades diarias. Esto ha revolucionado el transporte, la comunicación, el deporte, la medicina y la seguridad. Uno de los mayores avances tecnológicos de la humanidad son los sistemas de almacenamiento energético, los cuales hacen posible el desarrollo de dispositivos móviles y estacionarios, como celulares, computadoras, glucómetros, vehículos eléctricos y sistemas de respaldo eléctrico, entre otros. Debido a la gran capacidad que poseen los dispositivos de almacenamiento energético [1], estos representan una alternativa para disminuir las problemáticas ambientales relacionadas con el uso de combustibles fósiles y una solución para resolver la intermitencia de las energías renovables.

Esta intermitencia limita el uso de las tecnologías verdes. Por ejemplo, los sistemas eólicos solo producen energía cuando existen corrientes de aire suficientes para mover las turbinas de los aerogeneradores, limitando su aplicación a zonas específicas y generando energía de forma inconstante, la cual puede desperdiciarse cuando no se utiliza. Por este motivo, se buscan nuevas formas de almacenamiento energético que permitan conservar la energía generada por los sistemas renovables y mantener un flujo constante de energía (Figura 1).



Figura 1. Esquema representativo de las energías renovables (solar, hidrica, eólica y térmica) y las alternativas para solventar la intermitencia de estos sistemas.

Existen diferentes sistemas de almacenamiento energético que ayudan al proceso de descarbonización del planeta; entre ellos destacan las baterías y los capacitores. En el caso de las baterías, los sistemas de iones de litio son los más utilizados, ya que poseen una alta



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

capacidad específica, permitiendo almacenar una gran cantidad de energía y suministrarla durante largos periodos de tiempo. Por otro lado, los capacitores son considerados sistemas de alta potencia, ya que pueden proveer altas densidades de energía en poco tiempo y recargarse rápidamente [2].

Es importante mencionar que las baterías de ion-litio pueden recargarse hasta 3000 veces, presentando un deterioro gradual del sistema, mientras que los capacitores suelen operar entre 2000 y 20 000 ciclos con una disminución aproximada de 10 % de su capacidad energética [3]. Aunque estos sistemas suelen compararse, también permiten el desarrollo de tecnologías duales e híbridas que maximizan sus aplicaciones y optimizan su tiempo de vida. Un ejemplo son los vehículos eléctricos, los cuales incorporan capacitores para el frenado regenerativo, aumentando la autonomía del sistema de almacenamiento energético hasta en un 25 % y prolongando la vida útil de las baterías hasta 10 veces [4]. Asimismo, la incorporación de capacitores en elevadores puede reducir el gasto energético hasta en un 70 %, disminuyendo costos de operación en edificios comerciales, hospitales y aeropuertos [5].

La ciencia detrás de los supercapacitores

El mundo de los capacitores es bastante amplio, existiendo capacitores convencionales y capacitores electroquímicos, entre ellos los capacitores electrolíticos, supercapacitores y pseudocapacitores. Estos dispositivos se componen de dos electrodos (materiales conductores de electrones) y un medio separador, diferenciándose principalmente por su funcionamiento y componentes.

Por un lado, los capacitores convencionales se componen de electrodos elaborados con láminas metálicas separadas por un material aislante llamado dieléctrico, lo que permite almacenar una cantidad limitada de carga [6]. Por otro lado, los capacitores electroquímicos incorporan un electrolito (sustancia que contiene iones y permite conducir electricidad) y poseen una mayor capacidad de almacenamiento.

Los supercapacitores incorporan dos electrodos elaborados con materiales altamente porosos, principalmente carbones modificados como grafeno y nanotubos de carbono, separados por un electrolito [7]. Para comprender la diferencia entre un supercapacitor y un capacitor electrolítico, se debe considerar el cambio en el área real de los electrodos. Mientras que una lámina metálica posee una superficie relativamente plana, los materiales porosos incrementan sustancialmente el área disponible gracias a la presencia de poros, rugosidad y tamaño de partícula. Esto genera más zonas donde los iones del electrolito pueden adsorberse, aumentando así la capacitancia específica ($F\ g^{-1}$, cantidad de carga almacenada por gramo de material), como se observa en la Figura 2.

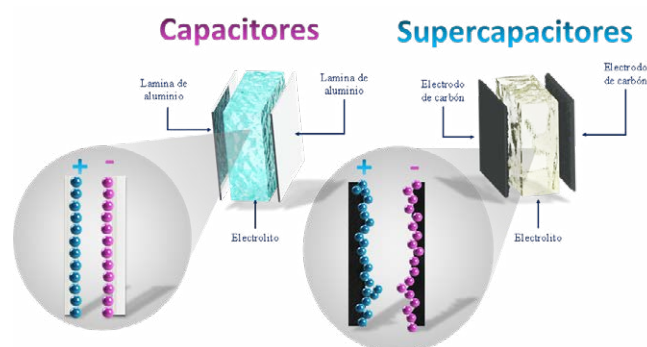


Figura 2. Esquema comparativo entre un capacitor electrolítico y un supercapacitor, detallando la diferencia en la estructura de los electrodos y su influencia en la adsorción de iones.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

Asimismo, existen los pseudocapacitores, los cuales combinan características de las baterías y los capacitores. A diferencia de los capacitores convencionales, que no llevan a cabo reacciones químicas ni electroquímicas durante su funcionamiento, los pseudocapacitores aprovechan reacciones similares a las presentes en las baterías para aumentar el número de cargas y el potencial del sistema [8].

Biocarbones: energía a partir de residuos orgánicos

Los supercapacitores han ganado gran relevancia en la comunidad científica debido al interés por desarrollar electrodos elaborados con carbones porosos, nanoestructurados y con gran estabilidad electroquímica, propiedades que determinan su capacidad de almacenamiento energético y tiempo de duración. Además, se han impulsado investigaciones para obtener carbón a partir de materia orgánica de desecho, como grano de café, cáscara de coco, cáscara de plátano y bagazo de agave, entre otros. Esto permite disminuir costos de fabricación, reducir la huella de carbono y minimizar la toxicidad ambiental [9].

El uso de nopal ha tomado gran importancia para el desarrollo de supercapacitores, debido a su adaptabilidad a temperaturas y entornos extremos, así como a su bajo consumo de agua. Estas características posicionan al nopal como un excelente candidato para proyectos de reforestación y economía circular en regiones áridas y semiáridas, principalmente en México, África y Oceanía.

Una de las principales inquietudes al emplear alimentos como materia prima es el posible aumento en el precio de la canasta básica, impactando negativamente a la población. Sin embargo, este factor se descarta en el caso del nopal, ya que en México se desecha aproximadamente el 63 % de su producción debido a la sobreproducción (SEDESOL, 2018) [10]. Esto representa una oportunidad para desarrollar sistemas de almacenamiento energético con bajo impacto ambiental y social, sin necesidad de extraer materias críticas.

¿Por qué usar nopal?

Debido a su naturaleza orgánica, el nopal presenta altos contenidos de carbono y, en menor proporción, heteroátomos (átomos distintos al carbono presentes en la estructura) como oxígeno, azufre, nitrógeno, fósforo, magnesio, aluminio y silicio. En ingeniería de materiales, la incorporación de otros elementos dentro de la estructura del carbono genera irregularidades llamadas defectos, los cuales podrían afectar negativamente algunas propiedades. No obstante, un nivel controlado de estos defectos puede ser beneficioso, ya que permite optimizar características como la resistencia a la corrosión, el aumento del área superficial y la estabilidad mecánica y química.

Para obtener biocarbones, la materia orgánica es sometida a un tratamiento térmico en atmósfera inerte, proceso conocido como carbonización. Mediante el control de parámetros como tiempo y temperatura, es posible modular el grado de defectos presentes en el material.

Del nopal al biocarbón conductor

El biocarbón a base de nopal fue obtenido mediante la deshidratación de pencas de nopal, las cuales posteriormente fueron molidas mecánicamente. Una vez molido, el material fue tratado térmicamente en un rango de temperaturas de 600 a 900 °C en atmósfera de nitrógeno, permitiendo la obtención de un carbón conductor y favoreciendo la evaporación de residuos



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES

orgánicos, lo que genera poros y aumenta el área superficial [11]. Finalmente, el biocarbón fue sometido a un proceso de activación química en medios ácidos y básicos con la finalidad de modificar su estructura morfológica y química [12], mejorando así sus propiedades electroquímicas.

Supercapacitores flexibles: la electrónica del futuro

Uno de los sistemas más novedosos en el campo de los supercapacitores son los dispositivos flexibles. Este tipo de supercapacitores amplía las aplicaciones de los capacitores rígidos, permitiendo el desarrollo de electrónica vestible y biosensores, entre otras tecnologías. Mediante la incorporación de supercapacitores en el recubrimiento de cables eléctricos, es posible optimizar el espacio y reducir la necesidad de módulos independientes de almacenamiento energético.

El desarrollo de sistemas flexibles presenta nuevos retos. Por un lado, los electrodos de carbón deben ser mecánicamente estables para soportar torsiones, estiramientos y flexiones sin comprometer su desempeño. Por otro lado, el uso de electrolitos cuasi sólidos, es decir, películas poliméricas con alta capacidad de adsorción de electrolito, puede mejorar el desempeño del dispositivo, pero también comprometer su estabilidad dimensional y mecánica, llegando a romperse o deformarse y afectando negativamente el rendimiento del capacitor [13].

La Figura 3 muestra el proceso de obtención de biocarbón a partir de nopal como materia prima. A través de un tratamiento térmico controlado, se generan estructuras carbonosas con propiedades conductoras, porosas y nanoestructuradas, además de un grado específico de defectos. Estas características contribuyen a mejorar el desempeño electroquímico del material, haciéndolo adecuado para su aplicación en supercapacitores flexibles (Figura 3).

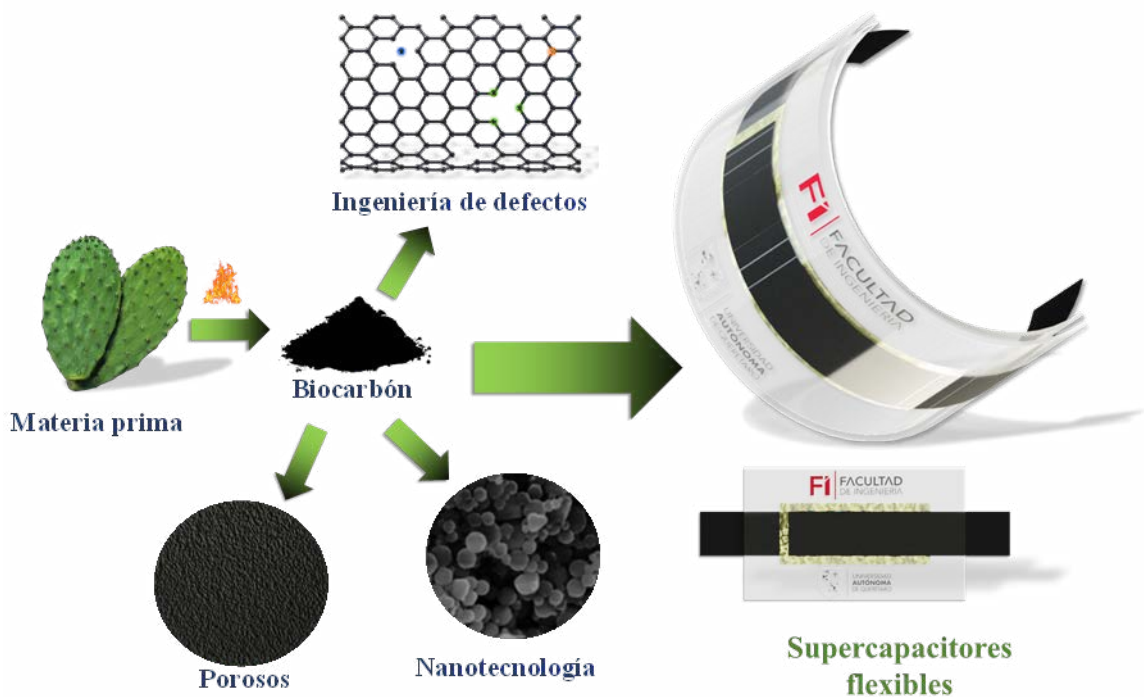


Figura 3. Proceso de elaboración de supercapacitores flexibles a partir de nopal.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

Conclusión

Los supercapacitores flexibles elaborados a base de biocarbón de nopal representan una alternativa viable y sostenible para disminuir el impacto ambiental asociado al desarrollo de sistemas de almacenamiento energético. Esta propuesta no compromete la economía de la sociedad y contribuye a reducir los residuos derivados del cultivo de nopal. Además, su aplicación puede extenderse a regiones del mundo con problemas hídricos o condiciones climáticas extremas.

Referencias

- [1] T. Lei, Z. Yang, Z. Lin y X. Zhang, "State of art on energy management strategy for hybrid-powered unmanned aerial vehicle," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 32, no. 6, pp. 1488–1503, jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.03.013>.
- [2] M. Winter y R. J. Brodd, "What are batteries, fuel cells, and supercapacitors?," *Chemical Reviews*, vol. 104, no. 10, pp. 4245–4269, oct. 2004, doi: <https://doi.org/10.1021/cr020730k>.
- [3] L. Chen et al., "Ultra-high-performance hybrid supercapacitors based on sodium sulfate template-derived electrodes with surface modulation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 456, p. 141166, ene. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.141166>.
- [4] "Investigadores de la NASA y UCF idean una carrocería supercondensadora, más autonomía y potencia sin añadir peso," *Forococheseléctricos*, 2022. [En línea]. Disponible en: [Forococheselctricos](https://www.forococheselctricos.com)
- [5] "Así funciona el KERS de los ascensores, con supercondensadores que recuperan y almacenan la energía cinética," *Forococheseléctricos*, 2024. [En línea]. Disponible en: [Forococheselectricos](https://www.forococheselectricos.com)
- [6] Z. Ahmad, M. K. Abdullah, M. Z. Ali y M. A. Md Zawawi, "Basic electronic," en *Polymers in Electronics*, 2023, pp. 225–271, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-98382-2.00006-5>.
- [7] M. Kaleem Shabbir, A. S. Syed y J. Akhtar, "Smart multifunctional polymeric inks for supercapacitor applications," en *Smart Multifunctional Nano-inks: Fundamentals and Emerging Applications*, 2023, pp. 429–449, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91145-0.00028-1>.
- [8] M. Sarno, "Nanotechnology in energy storage: the supercapacitors," *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 179, pp. 431–458, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64337-7.00022-7>.
- [9] Z. W. Ma, H. Q. Liu y Q. F. Lü, "Porous biochar derived from tea saponin for supercapacitor electrode: Effect of preparation technique," *Journal of Energy Storage*, vol. 40, p. 102773, ago. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102773>.
- [10] M. M. López Flores y J. M. Omaña Silvestre, "Modelo de desarrollo para el aprovechamiento de nopal verdura en Milpa Alta, Ciudad de México," *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, vol. 20, no. 4, pp. 408–424, 2023, doi: <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i4>.
- [11] S. Li, Y. Xu, X. Jing, G. Yilmaz, D. Li y L. S. Turng, "Effect of carbonization temperature on mechanical properties and biocompatibility of biochar/ultra-high molecular weight polyethylene composites," *Composites Part B: Engineering*, vol. 196, p. 108120, sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108120>.
- [12] B. Díaz, A. Sommer-Márquez, P. E. Ordoñez, E. Bastardo-González, M. Ricaurte y C. Navas-Cárdenas, "Synthesis Methods, Properties, and Modifications of Biochar-Based Materials for Wastewater Treatment: A Review," *Resources*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/resources13010008>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES

- [13] Z. Yan, S. Luo, Q. Li, Z. S. Wu y S. Liu, "Recent Advances in Flexible Wearable Supercapacitors: Properties, Fabrication, and Applications," *Advanced Science*, vol. 11, no. 8, p. 2302172, feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1002/adv.202302172>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES