

Recepción: 09.12.2026

Revisión: 31.03.2026

Publicación: 08.05.2026

<https://orcid.org/0009-0007-6116-9263>

<https://orcid.org/0000-0002-9495-4678>

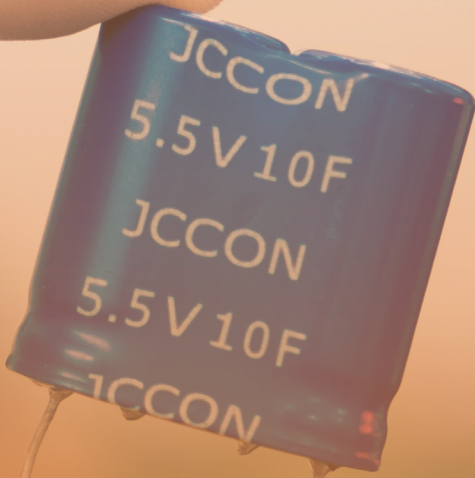
SUPERCAPACITORES NANOESTRUCTURADOS: OPORTUNIDADES DE NEGOCIO EN EL MERCADO DE LA ENERGÍA

NANOSTRUCTURED SUPERCAPACITORS: BUSINESS
OPPORTUNITIES IN THE ENERGY MARKET

Ángela Méndez Méndez*
Jorge Alberto Galaviz Pérez

División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Tabasco, México
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

Correos:
angelamendez16022@gmail.com
jorgegalavizperez@gmail.com



Resumen

La nanotecnología representa una de las fronteras más avanzadas de la ciencia contemporánea, ha transformado múltiples sectores entre ellos la electrónica y la energía debido a las propiedades únicas que proporcionan los nanomateriales. En los últimos años, los supercapacitores han emergido como una tecnología de almacenamiento energético complementaria a las baterías convencionales. Los supercapacitores (sCs) nanoestructurados combinan una alta potencia, rápidos procesos de carga/descarga y una vida útil más prolongada, todo esto mediante el uso de materiales a escala nanométrica como lo son (grafeno, nanotubos de carbono, óxidos metálicos, polímeros conductores). El implemento de estas mejoras técnicas abre paso a grandes vías comerciales en cuestión de electrónica industrial, movilidad y redes eléctricas. Sin embargo, la exploración comercial exige superar retos como la densidad energética, normas técnicas, costos de material y producción. Este artículo analiza los avances recientes en (sCs) nanoestructurados, sintetiza el estado del arte técnico, así como los retos tecnológicos y comerciales que aún deben superarse.

Palabras clave: Nanotecnología, Energías, Almacenamiento de energía, Supercapacitores, Innovación, Materiales avanzados, Mercados energéticos.

Abstract

Nanotechnology represents one of the most advanced frontiers of contemporary science; it has transformed multiple sectors, including electronics and energy, due to the unique properties provided by nanomaterials. In recent years, supercapacitors have emerged as a complementary energy storage technology to conventional batteries. Nanostructured supercapacitors (sCs) combine high power, fast charge/discharge processes, and a longer service life, all of which use nanoscale materials such as graphene (carbon nanotubes, metal oxides, conductive polymers). The implementation of these technical improvements opens the way to major commercial routes in terms of industrial electronics, mobility, and electrical networks. However, commercial exploration requires overcoming challenges such as energy density, technical standards, material costs, and production. This article analyzes recent advances in nanostructured (sCs), synthesizes the technical state of the art, as well as the technological and commercial challenges that still need to be overcome.

Keywords: Nanotechnology, Energy, Energy storage, Supercapacitors, Innovation, Advanced materials, Energy markets.

Introducción

Los (sCs) nanoestructurados son dispositivos avanzados de almacenamiento de energía que se caracterizan por su capacidad rápida de carga/descarga, larga vida útil y su alta eficiencia. Estos dispositivos se diferencian de los condensadores y baterías tradicionales, lo cual mejora significativamente sus propiedades, como la densidad de energía y la estabilidad durante ciclos repetidos.

La creciente demanda mundial de energía, junto con el cambio hacia fuentes más renovables, ha generado un interés en tecnologías de almacenamiento energético eficientes y sostenibles. En este contexto, los supercapacitores (sCs) se presentan como una alternativa viable gracias a su capacidad de suministrar picos de potencia en tiempos muy cortos, su elevada vida útil y la seguridad operativa.

Sin embargo, una de sus principales limitaciones históricas ha sido su baja densidad energética en comparación con las baterías convencionales de ión-litio, para mitigar esta desventaja, en los últimos años se han incorporado nanoestructuras avanzadas en los electrodos, logrando incrementos significativos en la capacidad de almacenamiento y estabilidad (Zhang, 2020). Estas mejoras han abierto nuevas oportunidades de negocio en sectores estratégicos como los sistemas de respaldo energético, movilidad eléctrica y la integración de energías renovables en redes inteligentes.

Los recientes avances en los materiales nanoestructurados han permitido superar muchas limitaciones históricas de los supercapacitores, como en capacitancia específica, estabilidad y conductividad, como destacan (Gao, 2021).

Además, el desarrollo de electrolitos innovadores, como los líquidos iónicos, ha ampliado la ventana electroquímica y la seguridad operativa de los dispositivos (Salanne, 2017). Por otra parte, la diferenciación entre el comportamiento doble capa y pseudocapacitancia ha

sido crucial para comprender los mecanismos de almacenamiento y diseñar electrodos de mayor eficiencia (Brousse, 2015). En cuanto a su operación, los principios fundamentales de transporte iónico y separación de cargas continúan basándose en modelos electroquímicos clásicos descritos por (Kötz, 2000), que siguen vigentes en aplicaciones industriales actuales.

Los supercapacitores se dividen principalmente en:

1. **Supercapacitores de doble capa eléctrica (EDLCs)**, donde el almacenamiento se produce por separación de cargas en la interfaz electrodo-electrolito, son contruidos por carbono altamente poroso, dando como resultado una superficie con una amplia relación de volumen.
2. **Pseudocapacitores**, en los que intervienen procesos faradaicos a través de la transferencia de cargas entre un electrodo y un electrolito que rápidamente aumenta la capacidad específica.

La incorporación de los materiales nanoestructurados permite el aumento de la superficie activa, mejorando la conductividad y el fácil transporte iónico, produciendo un mejor rendimiento electroquímico

Materiales nanoestructurados en supercapacitores

Grafeno y derivados

El grafeno es uno de los materiales más investigados por su elevada conductividad eléctrica y área superficial. Estas propiedades permiten una alta accesibilidad iónica y un transporte electrónico eficiente; su combinación de óxidos metálicos y polímeros conductores ha permitido mejorar la capacidad y estabilidad cíclica de los electrodos, lo que lo convierte en un candidato clave para aplicaciones avanzadas en los supercapacitores. (Stoller, 2008)

Nanotubos de carbono (CNTs)

Poseen una estructura tubular con destacadas propiedades eléctricas y mecánicas, además los CNTs pueden actuar como andamiaje para otros materiales activos. Son utilizados como redes conductoras para el mejoramiento de la integridad mecánica y hacer más eficiente el transporte electrónico. (Frackowiak, 2001)

Óxidos metálicos y polímeros conductores

Los óxidos metálicos como (MnO_2 , RuO_2) y los polímeros conductores (polianilina, polipirrol) ofrecen elevadas capacitancias pseudocapacitivas, aunque su baja conductividad intrínseca limita su aplicación directa. No obstante, requieren de la integración de carbonos para superar problemas de conductividad ampliando el rango de aplicaciones potenciales. (Conway, 2013).

Propiedades de los materiales para sCs

Tabla 1. Propiedades comparativas de materiales para sCs autoría propia.

PROPIEDADES COMPARATIVAS DE MATERIALES sCs			
MATERIAL	CAPACITANCIA TÍPICA (F / g)	VENTAJAS	LIMITACIONES
Grafeno	200-300	Alta conductividad y área superficial	Costo elevado, producción a escala
CNTs	150-250	Integridad estructural, buena conductividad	Dificultad de dispersión homogénea
Óxidos / Poli- meros	400-700	Alta capacitancia pseudocapacitiva	Baja conductividad intrínseca

Fuente: Elaboración propia con base en información de (Stoller, 2008),(Frackowiak, 2001), (Conway, 2013) y (Gao, 2021).

Electrolitos avanzados para supercapacitores

Los electrolitos determinan la ventana de potencial, la estabilidad térmica y la seguridad de operación. Los líquidos iónicos se consideran una alternativa prometedora debido a su baja volatilidad, estabilidad electroquímica y

capacidad para operar voltajes más altos que los electrolitos acuosos u orgánicos tradicionales (Salanne, 2017). Esto permite obtener supercapacitores más seguros y con una mayor densidad energética sin comprometer la vida útil.

Tendencias tecnológicas en diseño de electrodos

La comprensión de los mecanismos pseudocapacitivos ha impulsado la fabricación de electrodos híbridos que combinan materiales de doble capa y materiales faradaicos. (Brousse, 2015) subraya

que el diseño racional de estructuras jerárquicas permite optimizar simultáneamente el transporte iónico y la conductividad eléctrica, lo cual es indispensable para la aplicación de alta demanda.

Avances en manufactura y escalabilidad

La transición de supercapacitores experimentales a productos comerciales requiere procesos de síntesis reproducibles, escalables y de bajo costo. (Gao, 2021) indican que las

rutas de síntesis hidrotermal, procesos sol-gel y depósito en fase vapor son los métodos con mayor potencial industrial por su eficiencia y control estructural.

Aplicaciones energéticas

Los supercapacitores nanoestructurados encuentran aplicaciones en:

- **Energías renovables:** pueden almacenar y liberar energía de fuentes como los paneles solares o fuentes eólicas ayudando a garantizar un suministro eléctrico más estable y gestionando el rendimiento de la red eléctrica.
- **Electrónica de consumo:** alimenta dispositivos electrónicos ofreciendo una gestión eficiente de la energía y permitiendo el desarrollo de supercapacitores flexibles para los dispositivos portátiles.
- **Automatización Industrial:** contribuyen en la eficiencia energética de las fábricas y los procesos industriales, los cuales necesitan ciclos de carga/descarga rápidos y repetitivos.
- **Movilidad eléctrica:** recuperación de la energía en frenado regenerativo, arranques rápidos y sistemas de almacenamiento híbrido.

Ventajas y desventajas de los supercapacitores

VENTAJAS

Alta Densidad de Potencia: Los supercapacitores pueden entregar grandes cantidades de energía en un corto periodo de tiempo, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren picos de potencia, como los sistemas de frenado regenerativo en vehículos eléctricos.

Carga y Descarga Rápidas: Gracias a la capacitancia de doble capa, los supercapacitores se pueden cargar y descargar en cuestión de segundos o minutos, superando significativamente los tiempos de carga de las baterías tradicionales.

Larga Vida Útil: Los supercapacitores nanoestructurados tienen la capacidad de soportar cientos de miles de ciclos de carga y descarga sin perder su eficiencia, lo que se traduce en una mayor vida útil comparado con otros dispositivos de almacenamiento de energía.

Estabilidad Térmica: Estos dispositivos son más estables a diferentes temperaturas, lo que les permite operar en condiciones extremas sin sufrir deterioro significativo.

DESVENTAJAS

Baja Densidad de Energía: Aunque los supercapacitores tienen una alta densidad de potencia, su densidad de energía es menor en comparación con las baterías tradicionales, lo que significa que no pueden almacenar tanta energía por unidad de peso o volumen.

Costo Elevado: Los materiales nanoestructurados, como el grafeno y los óxidos metálicos, pueden ser costosos de producir, lo que incrementa el precio final de los supercapacitores.

Autodescarga Alta: Los supercapacitores tienden a sufrir de una tasa de autodescarga más alta que las baterías convencionales, lo que significa que pueden perder energía con mayor rapidez cuando no están en uso.

Baja Tensión de Operación: La tensión máxima de los supercapacitores suele ser baja, lo que requiere conectar varios dispositivos en serie para aplicaciones que necesiten altos voltajes, aumentando la complejidad del sistema.

Figura 1. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas del uso de supercapacitores nanoestructurados autoría propia, datos: (Balderas Soto, 2023)

Modelos de negocio y estrategias comerciales

El crecimiento del mercado global de almacenamiento energético ha impulsado la necesidad de crear modelos de negocio que sean innovadores y permitan la adopción de tecnologías emergentes como lo son los supercapacitores nanoestructu-

rados. Diferente a las baterías de Ion-Litio, cuyo modelo de negocio está bien establecido, los supercapacitores requieren de enfoques más flexibles que se adapten a su papel complementario del sistema energético.

Modelos de negocio predominantes

El mercado de los supercapacitores nanoestructurados (sCNs) ha adoptado diversos modelos de negocio que responden tanto a las exigencias tecnológicas como a las dinámicas económicas del sector energético. Estos modelos buscan equilibrar innovación, viabilidad financiera y escalabilidad industrial, considerando que la manufactura de nanomateriales avanzados implica costos elevados, largos periodos de desarrollo y barreras regulatorias en sectores como automoción y energía renovable.

1. **Modelo OEM/B2B (Integración directa con fábricas de equipos).** Consiste en vender supercapacitores o módulos completos directamente a fabricantes de equipos (vehículos, maquinaria, energías renovables), quienes integran el producto en sus sistemas. Es el modelo más utilizado por empresas tecnológicas orientadas al mercado industrial.
2. **Modelo de sistemas híbridos (supercapacitor + batería).** Combina supercapacitores con baterías para mejorar el rendimiento, prolongar la vida útil y reducir costos operativos. El negocio se centra en comercializar sistemas completos optimizados para sectores como vehículos eléctricos y almacenamiento energético.
3. **Licenciamiento tecnológico (Technology Licensing Model).** Implica transferir o vender derechos de uso de patentes, procesos de fabricación, materiales o software a empresas con capacidad de producción masiva. El licenciante genera ingresos por regalías y el licenciataria accede a tecnología avanzada sin invertir en I+D propia.
4. **Energy as a Service (EaaS) aplicado a supercapacitores.** Modelo en el que el cliente no compra el supercapacitor, si no el servicio energético que este provee (respaldo, estabilización, gestión de

picos). Transforma la inversión inicial en un pago recurrente, ideal para industrias y centros de datos.

5. **Modelo de plataforma energética o Integración en infraestructura.** Integra supercapacitores, software, sensores e inteligencia artificial en un solo sistema, ofreciendo soluciones completas de gestión energética. El negocio se basa en vender no solo el dispositivo, sino un ecosistema de servicios avanzados.
6. **Modelo de fabricación por contrato (Contract Manufacturing Organization, CMO).** Consiste en que una empresa externa produce los supercapacitores o componentes avanzados para una empresa que posee la tecnología pero no la capacidad industrial. Reduce costos y acelera la entrada al mercado para startups y desarrolladores de nanomateriales.
7. **Modelo de economía circular (Circular Business Model).** Enfocado en el reciclaje, recuperación y reutilización de materiales y dispositivos, ofreciendo productos reacondicionados o materias primas recuperadas. Reduce costos, minimiza residuos y mejora la sostenibilidad del proceso productivo.

Venta directa de dispositivos: uno de los puntos más importantes es la fabricación y comercialización de supercapacitores como productos terminados para las aplicaciones en movilidad eléctrica, electrónica de consumo y redes inteligentes. Empresas como Maxwell Technologies y Skeleton Technologies han seguido este modelo con un gran éxito inicial.

Integración en soluciones híbridas.

Los (sCNs) pueden combinarse con baterías de Ion-Litio para ofrecer sistemas de almacenamiento con una alta densidad de potencia y una buena densidad energética. Este modelo es muy

atractivo para los fabricantes de vehículos eléctricos, autobuses y trenes eléctricos que requieren arranques rápidos y grandes ciclos de carga.

Licenciamiento tecnológico

Centros de investigación desarrollan nanomateriales avanzados y licencian sus tecnologías a corporativos. Este enfoque reduce la brecha entre la investigación académica y las aplicaciones comerciales.

Análisis del mercado global de supercapacitores

Los actores clave que operan en el mercado de supercapacitores son Maxwell Technologies (EE. UU.), LS Materials (Corea del Sur), Nippon Chemi-Con Corporation (Japón) y CAP-XX (Australia). Estas empresas cuentan con una amplia cartera de productos y una sólida presencia geográfica.

Este ecosistema está compuesto por numerosos actores, como proveedores de materiales, fabricantes de componentes y proveedores de tecnología, cada uno de los cuales desempeña un papel crucial en el desarrollo, la integración y la comercialización de soluciones avanzadas de almacenamiento de energía. (MarketsandMarkets., 2025).(Figura 2).



Figura 2. Ecosistema del mercado global de supercondensadores (MarketsandMarkets., 2025)

Estrategias comerciales

Según (Baumgarte, 2020) , los modelos de negocios en almacenamiento energético deben considerar estrategias de diferenciación, alianzas y estabilidad para lograr rentabilidad y encontrar un nicho específico y posicionar los (sCs) en el mercado. Las estrategias comerciales para la adopción y posicionamiento de los supercapacitores nanoestructurados se encuentran en una fase de evolución acelerada, impulsadas por el crecimiento de la electrificación global y la demanda de soluciones de almacenamiento rápido. Las empresas del sector están adoptando modelos híbridos de comercialización, alianzas estratégicas y esquemas de valor agregado para introducir la tecnología en mercados competitivos.

Una estrategia clave en mercados regulados es la obtención de certificaciones internacionales de calidad y sostenibilidad, como ISO 14001, IEC 62899 o UL 810^a, que fortalecen la credibilidad del producto y abren puertas a licitaciones gubernamentales y proyectos de infraestructura energética. Estas certificaciones también permiten posicionar a los supercapacitores como tecnologías verdes, un factor de creciente importancia en políticas públicas y fondos de inversión con lineamientos ESG. (Figura 3)

Barreras, riesgos y desafíos técnico/comerciales

El desarrollo y la adopción de supercapacitores (sCs) nanoestructurados en el mercado energético presentan múltiples oportunidades, pero también enfrentan grandes barreras que deben ser abordadas para garantizar su escalabilidad en el mercado.

Los costos elevados en la producción de la síntesis de los nanomateriales como grafeno, nanotubos de carbono y óxidos metálicos representan un obstáculo crítico. Según (Zhang, 2020), la falta de métodos de producción masiva a bajo costo limita la competitividad de estas tecnologías frente a las baterías convencionales cuya infraestructura y manufactura ya se encuentran consolidadas.

Desde la perspectiva comercial, la falta de estandarización y normativas técnicas internacionales genera incertidumbre en la adopción industrial. (Baumgarte, 2020), señalan que la ausencia de marcos regulatorios claros dificulta el diseño de modelos de negocio sostenibles y la atracción de inversión privada en el sector. Asimismo, existe un riesgo de percepción de

mercado: muchos consumidores y tomadores de decisiones desconocen las ventajas diferenciales de los supercapacitores, lo que retrasa su adopción masiva. En este sentido, Yang et al. (2022) destacan que la difusión de información técnica y el establecimiento de políticas públicas de apoyo son elementos clave para superar estas barreras.



Figura 3. Estrategias comerciales emergentes para los supercapacitores autoría propia, datos: (Baumgarte, 2020)

Retos comerciales

Pese a todas las oportunidades que se vislumbran para los supercapacitores, también existen desafíos que pueden limitar la expansión de los (sCs), entre ellos:

- Altos costos de producción en el proceso de la fabricación de nanomateriales avanzados.
- Falta de estandarización en los parámetros técnicos y normativos internacionales.
- Competencia contra las baterías de Ion-Litio, cuya infraestructura de producción y logística ya se encuentra consolidada.
- En cuanto a la percepción del mercado, aún se desconocen las ventajas en comparación con las tecnologías tradicionales.

Perspectiva de negocio

El mercado de supercapacitores se encuentra en expansión con una tasa de crecimiento anual compuesta proyectada entre 15% y el 19% hacia 2030. Según (MarketsandMarkets, 2025), se proyecta que el tamaño del mercado global pase de aproximadamente USD 1.35 mil millones en 2025 a USD 2.84 mil millones para el año 2030, con una tasa compuesta anual de crecimiento del 16,1% durante ese periodo. Las oportunidades más relevantes incluyen: integración en vehículos híbridos y buses eléctricos, recuperación de energía en frenado regenerativo y sistemas de arranque que demandan altos picos de potencia, soluciones de almacenamiento en plantas fotovoltaicas y eólicas para suavizar la variabilidad de generación, mejorar la estabilidad de la red y así ofrecer respaldo energético en momentos de alta demanda.



Figura 4. Tamaño de mercado de supercapacitores proyección de 2025-2030 (MarketsandMarkets., 2025)

El análisis realizado evidencia que los supercapacitores (sCs) nanoestructurados presentan ventajas competitivas frente a las baterías de ión-litio en aplicaciones donde se requiere una alta potencia y ciclos prolongados de carga. Por lo tanto, su papel es complementario dentro de los métodos de almacenamiento energético.

Presentan grandes oportunidades de negocios en cuestiones de movilidad eléctrica y energías renovables, aunque los costos de producción de los nanomateriales, la escalabilidad de procesos y la falta de estandarización técnica aún son retos críticos que deben superarse.

Por lo tanto, la combinación de los supercapacitores (sCs) nanoestructurados con las baterías en sistemas híbridos representa una estrategia prometedora para el incremento de la competitividad de ambas tecnologías.

Perspectivas futuras

Las perspectivas futuras en el campo de los supercapacitores nanoestructurados indican un camino prometedor impulsado por la evolución de materiales avanzados, procesos de síntesis sostenibles y nuevas arquitecturas de electrodos.

Se espera que investigaciones futuras se centren en desarrollar materiales híbridos capaces de combinar altas densidades de energía y potencia sin comprometer la estabilidad cíclica, especialmente mediante la integración de MXenes funcionalizados, grafeno dopado y polímeros conductores mejorados. Asimismo, el perfeccionamiento de electrolitos verdes, incluyendo líquidos iónicos de bajo costo y geles poliméricos avanzados, permitirá ampliar la venta operacional y mejorar la seguridad de los dispositivos.

Por otro lado, la manufactura a gran escala constituye un área prioritaria, por lo que se prevé un aumento en el uso de técnicas como la impresión aditiva, la síntesis hidrotermal continua y el depósito asistido por plasma para reducir costos y mejorar la reproducibilidad. En términos comerciales, la implementación de modelos de negocio como *Energy as a Service* y la integración de supercapacitores en microrredes inteligentes abrirá nuevas oportunidades para su adopción.

Estas perspectivas sugieren que los supercapacitores nanoestructurados tienen un futuro sólido, siempre que se aborden de manera integral las brechas tecnológicas y las barreras económicas actuales.

Análisis crítico de los autores

La literatura analizada demuestra un consenso general respecto al potencial de los supercapacitores nanoestructurados, pero simultáneamente expone inconsistencias, retos no resueltos y contradicciones relevantes entre los distintos enfoques de investigación.

Los trabajos clásicos como los de (Conway, 2013) y (Frackowiak, 2001) establecen las bases electroquímicas fundamentales, describiendo mecanismos de doble capa y procesos pseudocapacitivos que siguen siendo válidos en investigaciones modernas. Sin embargo, a pesar de este marco conceptual sólido, la literatura reciente aún presenta dificultades para estandarizar definiciones y separar con claridad los fenómenos electroquímicos, tal como señala (Brousse, 2015), lo que genera una falta de uniformidad al comparar resultados experimentales.

En cuanto al avance en materiales, investigaciones como las de (Stoller, 2008) y (Gao, 2021) demuestran mejoras sustanciales en capacitancia, estabilidad y conductividad mediante el uso de grafeno, nanotubos y MXenes. No obstante, tales mejoras suelen derivarse de condiciones específicas de laboratorio que no

necesariamente se mantienen bajo procesos de producción a gran escala. Esto indica una brecha importante entre el rendimiento teórico y viabilidad industrial, especialmente en materiales de alto costo o difícil síntesis.

Autores como (Salanne, 2017) proponen el uso de líquidos iónicos para extender la ventana electroquímica y mejorar la sostenibilidad, pero aunque estos electrolitos ofrecen ventajas evidentes en seguridad y rendimiento, también presentan altos costos, baja disponibilidad en algunos mercados y desafíos de compatibilidad con ciertos electrodos.

Por otra parte, (MarketsandMarkets, 2025) y (Liu, 2010) destacan la creciente relevancia comercial de los supercapacitores, especialmente en movilidad eléctrica, energías renovables y respaldo industrial. Sin embargo, los reportes de mercado suelen asumir escenarios de rápida adopción que no siempre consideran los retos técnicos identificados en la literatura científica, como degradación estructural, costos elevados de producción y falta de estandarización tecnológica; esto genera tensión entre el optimismo comercial y la realidad tecnológica.

La mayoría de la literatura revisada prioriza resultados electroquímicos prometedores, pero suelen abordar de manera limitada aspectos claves como: impacto ambiental de la síntesis, reciclabilidad, requerimientos regulatorios, costos de manufactura o disponibilidad de materias primas en mercados globales.

Aunque el conjunto de referencias coincide en que los supercapacitores nanoestructurados tienen un papel estratégico dentro de la transición energética, también dejan claro que su implementación masiva dependerá de la capacidad de integrar avances científicos con modelos de negocios viables, cadenas de suministros sostenibles y procesos de manufactura escalables. En este sentido, el desarrollo futuro requiere un enfoque integral que combine investigación de materiales, ingeniería industrial, economía energética y políticas de innovación.

Conclusiones

Los supercapacitores nanoestructurados presentan una interacción atractiva entre los avances materiales y las necesidades del mercado energético moderno: alta potencia, durabilidad y respuesta instantánea. Las oportunidades de negocios son reales y amplias.

La colaboración entre centros de investigación, empresas emergentes, sector gubernamental y grandes corporativos será esencial para convertir los avances científicos en modelos de

negocio rentables y sostenibles, logrando así posicionar a los supercapacitores como piezas fundamentales en la transición energética.

Las oportunidades de negocio son bastantes y se encuentran respaldadas por un mercado con crecimiento acelerado. Sin embargo, la reducción de costos, sin bajar la calidad en cuanto al rendimiento energético y la estandarización de los procesos serán factores determinantes para consolidar su adopción masiva.

Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Descargo de Responsabilidad (Inteligencia Artificial) Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (Chat GPT, COPILOT, etc.) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

Agradecimientos

A los docentes y asesor por el apoyo brindado durante la formación académica.

Referencias

- Balderas Soto, M. A. (2023). Desarrollo de supercapacitores utilizando aleaciones metálicas y compuestos de carbono (Tesis de maestría). [Universidad de origen no especificada].
- Baumgart, F., Glenk, G., & Rieger, A. (2020). Business models and profitability of energy storage. *iScience*, 23 (10), Article 101554. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101554>
- Brousse, T., Bélanger, D., & Long, J. W. (2015). To be or not to be pseudocapacitive? *Journal of The Electrochemical Society*, 162 (5), A5185–A5189.
- Conway, B. E. (2013). *Electrochemical supercapacitors: Scientific fundamentals and technological applications*. Springer.
- DOE (U.S. Department of Energy). (2023). Findings from Storage Innovations 2030: Supercapacitors. Recuperado de <https://energy.gov>
- Frackowiak, E., & Béguin, F. (2001). Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors. *Carbon*, 39 (6), 937-950.
- Gao, Q., Zhang, S., & Li, L. (2021). Advances in nanostructured electrode materials for high-performance supercapacitors. *Materials Today*, 45, 93–118.
- Hurtado Solórzano, P. G. (2021). Síntesis y caracterización de polipirrol con sustrato de caucho sobre fibras de carbono como electrodos en un supercondensador [Tesis de pregrado o maestría, universidad no especificada].
- Kötz, R., & Carlen, M. (2000). Principles and applications of electrochemical capacitors. *Electrochimica Acta*, 45 (15-16), 2483–2498.
- Liu, C., Li, F., Ma, L. P., & Cheng, H. M. (2010). Advanced materials for energy storage. *Advanced Materials*, 22 (8), E28–E62.
- MarketsandMarkets. (2025). Supercapacitor market size, share & industry growth analysis 2032. Recuperado de <https://www.marketsandmarkets.com>
- Markets and Markets. (2025). "Supercapacitor market by type (double-layered capacitors, pseudocapacitors, hybrid capacitors), electrode material, application (automotive, industrial, energy, consumer electronics), region - global forecast to 2030". Recuperado de <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/supercapacitor-market-37140453.html>
- Méndez, E. F., Arrobo, E. V., & Moroch, A. F. (2020). Supercapacitores como aporte al desarrollo energético eléctrico: Análisis comparativo mediante herramientas computacionales de simulación aplicadas. *Espacios*, 41 (29), 29.
- Mordor Intelligence Research & Advisory. (2023). "Tamaño del mercado de supercondensadores y análisis de participación: Tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)". Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/supercapacitors-market>
- Salanne, M. (2017). Ionic liquids for supercapacitor applications. *Topics in Current Chemistry*, 375 (2), 1–27.
- Stoller, M. D., Park, S., Zhu, Y., An, J., & Ruoff, R. S. (2008). Graphene-based ultracapacitors. *Nano Letters*, 8 (10), 3498-3502.
- Yang, Y., Han, Y., Jiang, W., Zhang, Y., Xu, Y., & Ahmed, A. M. (2022). Application of the supercapacitor for energy storage in China: Role and strategy. *Applied Sciences*, 12 (1), Article 354. <https://doi.org/10.3390/app12010354>
- Zhang, L. L., Zhao, X. S., & Stoller, M. D. (2020). Recent advances in carbon-based supercapacitors. *ChemSusChem*, 13 (6), 1520–1540. <https://doi.org/10.1002/cssc.201902509>