

APLICACIONES DEL GRAFENO EN EL SECTOR ENERGÉTICO. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO Y PATENTOMÉTRICO.

Luis Alberto Vásquez^{1*}, Jiraleiska Hernández¹, Samuel Villanueva¹, Magaly Henríquez¹

¹ Centro Nacional de Tecnología Química, Gerencia de Proyectos de I+D+i, Coordinación de Energía y Ambiente (CEA), Apartado Postal 1064, Caracas, Venezuela. Tel.: +58-212-238-53-21

*publicacionesgpidi.cntq@gmail.com

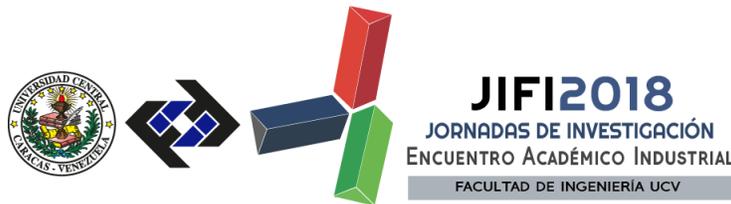
RESUMEN

El grafeno es un nanomaterial bidimensional de un átomo de espesor consistente en una retícula hexagonal de carbono con hibridación sp^2 que posee propiedades mecánicas y eléctricas que lo sitúan a la vanguardia de las venideras revoluciones tecnológicas, teniendo prometedoras aplicaciones en el sector energético. Entre sus propiedades destacan su elevada dureza, flexibilidad, ligereza, transparencia, alta conductividad térmica y eléctrica, elevada relación superficie/volumen y reducido efecto Joule. Considerando la importancia que tiene la energía en el mundo industrializado y la necesidad de buscar formas alternativas para su generación, se determinaron las tendencias a nivel mundial en la utilización / las aplicaciones de grafeno tanto para la generación como para el almacenamiento de energía, información identificada a partir de la búsqueda, almacenamiento, tratamiento y análisis de datos de publicaciones científicas y patentes para el periodo 2007 – 2017, para lo cual se hizo uso de las plataformas PatentInspiration® y Web of Science® respectivamente. Se encontró que las aplicaciones del grafeno están mayoritariamente enfocadas a la elaboración de electrodos y supercapacitores, siendo los países con la mayor cantidad de patentes y publicaciones científicas referentes a las aplicaciones del grafeno en el área energética China, Estados Unidos y la República de Corea.

Palabras Clave: Grafeno, energía, patentometría, bibliometría, ciencia métrica

ABSTRACT

Graphene is a two-dimensional nanomaterial one atom thick consisting of a carbon hexagonal grid with sp^2 hybridization. This material has mechanical and electrical properties that place it at the forefront of the coming technological revolutions, with promising applications in the energy sector. Its properties include its high hardness, flexibility, lightness, transparency, high thermal and electrical conductivity, high surface/volume ratio and reduced Joule effect. Considering the importance of energy in the industrialized world and the need to look for alternative ways to generate it, the present work of technological intelligence was developed to determine the global trends in the use of graphene for both generation and storage of energy, information that was identified from the search, storage, processing and analysis of data from scientific publications and patents for the period 2007 – 2017 using the platforms PatentInspiration® and Web of Science® respectively. It was found that graphene is used mainly in the preparation of electrodes



and supercapacitors, and that the countries with the highest volume of patents and scientific publications related to graphene applications in the energy area are China, the United States and the Republic of Korea..

Keywords: Graphene, energy, bibliometrics, patentometrics, scientometrics

INTRODUCCIÓN

El grafeno es un arreglo cristalino bidimensional de átomos de carbono con hibridación sp^2 , organizado en estructuras hexagonales tipo panal de abejas que por sus particulares propiedades mecánicas y eléctricas posee prometedoras aplicaciones en el campo de la optoelectrónica [1] la generación de energía [2] y la catálisis [3] entre otras, este novedoso material fue aislado y medidas sus propiedades eléctricas por primera vez en 2004 por los investigadores Konstantin Novoselov y Andre Geim [10] siendo merecedores del premio Nobel de física de 2010. A partir de su descubrimiento se han desarrollado un gran número de investigaciones tanto en el campo teórico como en el aplicado, explorándose desde diversos métodos de síntesis hasta aplicaciones prácticas del grafeno, siendo virtualmente explosivo el interés que ha presentado la comunidad científica en torno a este material. Se podría afirmar que el grafeno, se configura como uno de los materiales posicionados a la vanguardia del desarrollo tecnológico global y que forma parte de numerosas innovaciones. De acuerdo a la plataforma PatentInspiration® [11] (en búsqueda realizada en título y abstract el 25 de Abril de 2018 mostrando una patente por familia) se encuentra que para la fecha se tienen 34.991 patentes que involucran a este nuevo material.

Debido a la alta conductividad del material aunado a su elevada movilidad electrónica, en el campo de la energía se han investigado las posibles aplicaciones del grafeno para la fabricación de ánodos de baterías ion-litio [6], para la elaboración de supercapacitores, micro-supercapacitores y nanocapacitores [7], para la producción de celdas fotovoltaicas [8], para dispositivos termoelectrónicos y la síntesis de puntos cuánticos tanto para la generación como para el almacenaje de energía [9].

Con el objeto de brindar un panorama general y realizar una cartografía de las tendencias globales en las aplicaciones del grafeno en el sector energético se elaboró el presente análisis bibliométrico y patentométrico.

METODOLOGÍA

Se realizó el análisis bibliométrico y patentométrico de las aplicaciones del grafeno en el sector energético a nivel mundial. La recopilación de información se efectuó mediante la utilización de la ecuación de búsqueda:

graphene AND (photovoltaic* OR "solar cell" OR "fuel cell" OR "energy harvesting" OR "harvesting energy" OR "energy storage" OR thermophotovoltaic* OR thermoelectric* OR Supercapacitor OR battery OR piezoelect*)

desarrollada partiendo de búsquedas generales hasta obtener las palabras claves pertinentes al

área energética en las plataformas PatentInspiration® y Web of Science® (WoS) [10] Core Collection, para el análisis de patentes y publicaciones científicas respectivamente acotado al período 2007 – 2017. El levantamiento de datos de patentes se llevo a cabo el 25/04/2018 y el de publicaciones científicas el 17/05/2018. Adicionalmente la data de las 500 publicaciones más citadas obtenida por la plataforma Web of Science® se analizó haciendo uso de la herramienta VOSviewer para la obtención de los patrones de co-ocurrencia de texto para el desarrollo del correspondiente mapa bibliométrico, para lo cual se utilizó un umbral mínimo de 5 palabras coincidentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del levantamiento de datos de grafeno a nivel mundial, se obtuvieron 4.688 registros de solicitudes y concesiones de patentes relacionadas al área energética. Con respecto a las publicaciones científicas en el mismo periodo de tiempo se recogieron 5.386 documentos científicos. Ambos resultados reflejan un dinámico y alto volumen de innovación en el sector industrial y académico.

En la tabla 1, se presentan los resultados obtenidos al utilizar la ecuación de búsqueda planteada y los filtros empleados en las plataforma PatentInspiration® y Web of Science®.

Tabla 1. Resultados Patentométricos y Bibliométricos, Plataforma: PatentInspiration® y Web of Science®; Tratamiento CNTQ

Ecuación	Filtros	Resultados	Plataforma
	Sin filtro	6295	
graphene AND (photovoltaic* OR "solar cell" OR "fuel cell" OR "energy harvesting" OR "harvesting energy" OR "energy storage" OR thermophotovoltaic* OR thermoelectric* OR Supercapacitor OR battery OR piezoelect*)	2007 – 2017	5673	Patent Inspiration
	Una patente por familia	4688	
	2007 – 2017	5386	Thomson Reuters

Se gráfíco la evolución de las solicitudes y concesiones de patentes desde el año 2007 hasta el año 2017 (gráfico 1A). La tendencia es positiva con un crecimiento interanual promedio en los últimos 5 años de aproximadamente 26 %. A pesar del elevado volumen de patentes presentadas en el área, aún no se alcanza plenamente la madurez de estas tecnologías. Por lo tanto, existe un nicho abierto para la investigación e innovación en el área energética. En el gráfico 1B, se comparan el volumen de publicaciones científicas por año, con respecto al número de patentes, se observa un mayor volumen de publicaciones científicas con respecto al número de patentes publicadas, salvo para el año 2017 donde dicha tendencia se revierte. Comportamiento que pudiese interpretarse como un indicativo de que si bien aún no se ha alcanzado la maduración de la tecnología, el número de aplicaciones patentables va en aumento y es reflejo del creciente interés por parte de la industria en la producción de dispositivos para el almacenamiento y generación de energía a partir de grafeno.

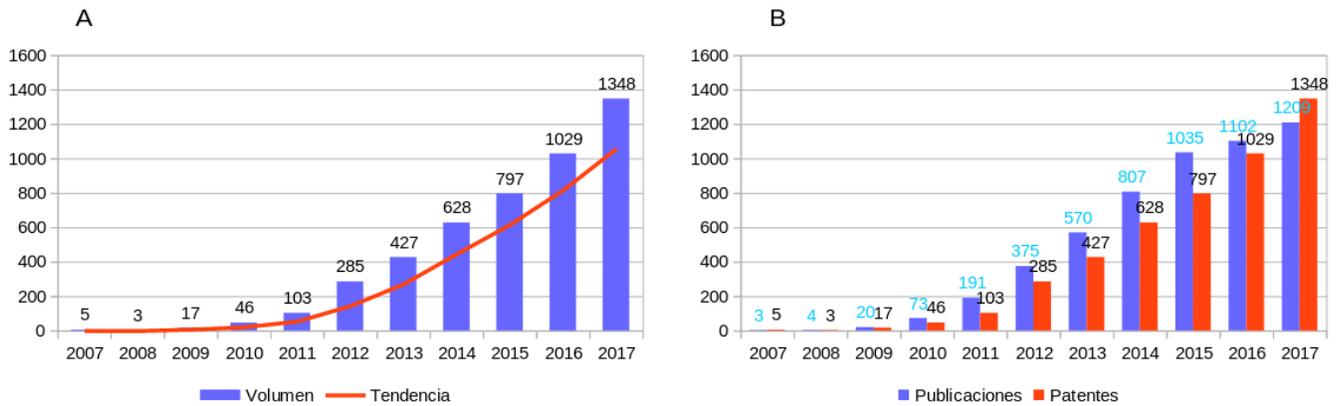


Gráfico 1. A) Número de patentes por año y tendencia de patentamiento
 B) Número de publicaciones vs. número de patentes por año
 Fuente: PatentInspiration® y Web of Science®

En el gráfico 2A se presenta la distribución de países que han publicado patentes referentes a las aplicaciones energéticas del grafeno, siendo China el país líder en la introducción de innovaciones con un total de 2.221 patentes, representando el 69%. Le siguen la República de Corea, con 348 patentes (10,8%) y Estados Unidos con 270 patentes (8,4%).

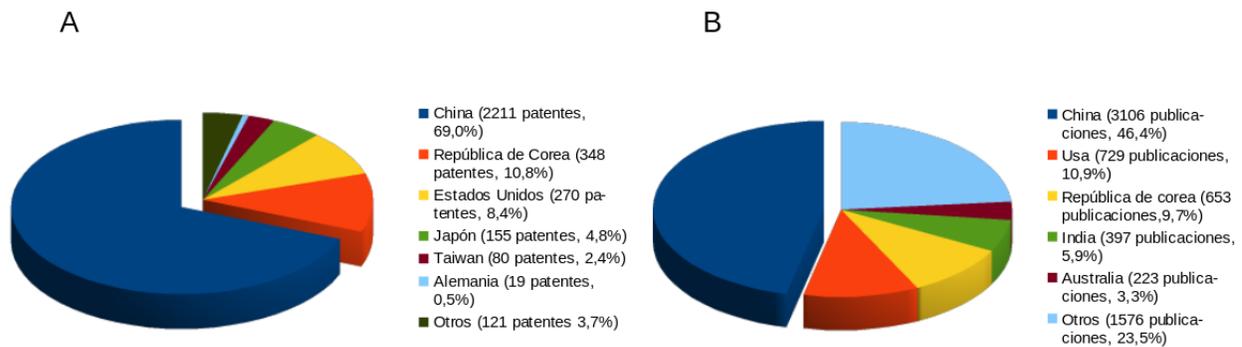


Gráfico 2. A) Distribución de patentes por país. B) Distribución de publicaciones científicas por país. Fuente: PatentInspiration® y Web of Science®

Cabe destacar que China presenta más patentes publicadas en el área que el resto de los países sumados, la razón posiblemente se encuentra en los cada vez mayores requerimientos energéticos de su creciente aparato industrial, que obligan al gigante asiático a la búsqueda de nuevos métodos para la generación eficiente de energía. En el campo de la literatura científica China también es el país líder en publicación de investigaciones (gráfico 2B), con un total de 3.106

publicaciones científicas, representado el 46,4%. Es seguido por Estados Unidos con 729 publicaciones (10,9%) y la República de Corea con 653 publicaciones (9,7%).

El análisis de la Clasificación Cooperativa de Patentes (códigos CPC) muestra que 638 de las patentes (23,1%) se introdujeron bajo el código Y02E60/00 que corresponde a *tecnologías con una contribución potencial o indirecta a la mitigación de emisiones gases de efecto invernadero* (gráfico 3). Esto evidencia que una de las potencialidades del grafeno, que a su vez representa el principal interés industrial del mismo, se encuentra enfocado en la producción de energías más limpias.

El segundo código CPC en importancia es el H01M4/00 con 298 patentes (10,8%), vinculado a la elaboración de electrodos de grafeno. El tercer y cuarto código CPC encontrados en el análisis de patentes también demuestran la tendencia hacia la búsqueda de tecnologías ecoamigables, siendo estos los código Y02P70/00 con 224 patentes (8,1%) y Y02E10/00 con 219 patentes (7,9%) que corresponden a *tecnologías de mitigación del cambio climático en el proceso de producción de productos finales industriales o de consumo y generación de energía a través de fuentes de energía renovables* respectivamente.

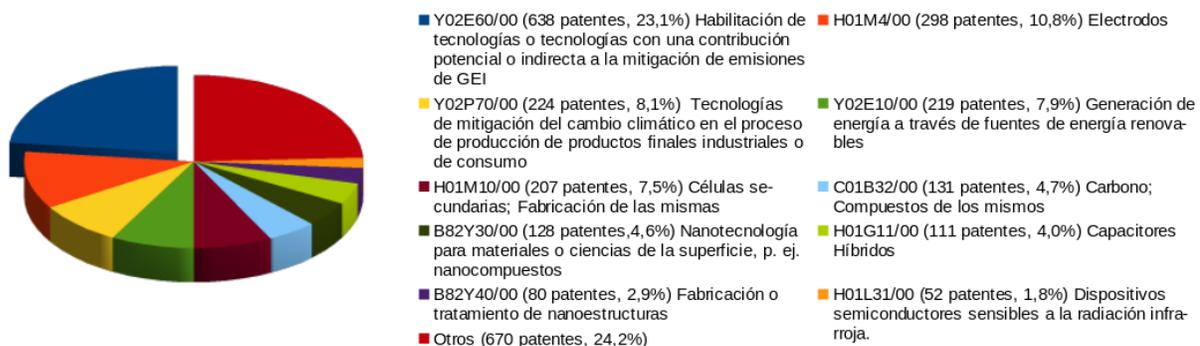


Gráfico 3. Códigos CPC en el área de aplicaciones energéticas del grafeno.

Fuente: PatentInspiration®

También destacan entre los códigos CPC encontrados el H01M10/00 referente a la fabricación de celdas secundarias (aquellas celdas galvánicas que se pueden recargar) y el H01G11/00 referente a los capacitores híbridos, siendo la elaboración de supercapacitores para el almacenamiento de energía uno de las más intensos campos de investigación en el área del grafeno. De igual modo destaca el código H01L31/00 para dispositivos semiconductores sensibles a la radiación infrarroja que se vincula con la elaboración de celdas fotovoltaicas y celdas termofotovoltaicas para la producción de electricidad.

Haciendo uso de la herramienta VOSviewer [11] se obtuvo el mapa bibliométrico de co-ocurrencia de texto presentado en el gráfico 4. Se observa las palabras claves más recurrentes

Tabla 2. Publicaciones científicas más citadas
Fuente: Web of Science®.

Año	Artículo	Citaciones	Financiamiento	Editorial	Autores
2008	Large reversible Li storage of graphene nanosheet families for use in rechargeable lithium ion batteries	1821	New Energy and Industrial Technology Development Organization Japan	AMER CHEMICAL SOC	Yoo EunJoo, Kim Jedeok, Hosono Eiji, Zhou Hao-shen, Kudo Tetsuichi, Honma Itaru.
2010	Graphene Anchored with Co ₃ O ₄ Nanoparticles as Anode of Lithium Ion Batteries with Enhanced Reversible Capacity and Cyclic Performanc	1616	Ministry of Science and Technology of China National Science Foundation of China Chinese Academy of Sciences	AMER CHEMICAL SOC	Wu Zhong-Shuai, Ren Wencai, Wen Lei, Gao Libo, Zhao Jinping, Chen Zongping, Zhou Guangmin, Li Feng, Cheng Hui-Ming
2010	Graphene-Based Supercapacitor with an Ultrahigh Energy Density	1526	U S DOE SBIR Program	AMER CHEMICAL SOC	Liu Chenguang, Yu Zhenning, Neff David, Zhamu Aruna, Jang Bor Z.
2009	Supercapacitor Devices Based on Graphene Materials	1420	NSFC MOST MOE NSF of Tianjin City Office of Naval Research NSF	AMER CHEMICAL SOC	Wang Yan, Shi Zhiqiang, Huang Yi, Ma Yanfeng, Wang Chengyang, Chen Mingming, Chen Yongsheng
2010	Mn ₃ O ₄ -Graphene Hybrid as a High-Capacity Anode Material for Lithium Ion Batteries	1353	KAUST Stanford Graduate Fellowship	AMER CHEMICAL SOC	Wang Hailiang, Cui Li-Feng, Yang Yuan, Casaloungue Hernan Sanchez, Robinson Joshua Tucker, Liang Yongye, Cui Yi, Dai Hongjie.

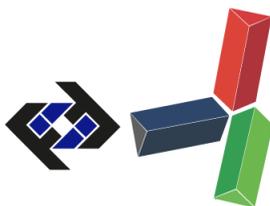
CONCLUSIONES

Debido a la alta conductividad del grafeno y a sus propiedades de transporte existe un gran interés por parte de la industria y la academia en la síntesis de este material para el almacenamiento y generación de energía, siendo los países líderes China, Estados Unidos y la República de Corea. China produce más de la mitad de las innovaciones en el área debido a sus crecientes requerimientos energéticos para satisfacer la demanda de su aparato industrial y a la necesidad de encontrar alternativas más limpias para la producción de energía.

Las investigaciones señalan que el grafeno posibilita la producción de tecnologías ecoamigables en el ámbito energético, siendo las principales aplicaciones en cuanto al almacenamiento energético la elaboración de electrodos para baterías ion litio y la fabricación de supercapacitores, mientras que para la generación de energía la tendencia se orienta principalmente a la fabricación de celdas fotovoltaicas y termofotovoltaicas.

REFERENCIAS

- [1] S. Lin, Y. Lu, J. Xu, S. Feng, and J. Li, "High performance Graphene/semiconductor van der Waals Heterostructure Optoelectronic Devices," *Nano Energy*, 2017.



- [2] S. Chowdhury and R. Balasubramanian, “Three-dimensional graphene-based macrostructures for sustainable energy applications and climate change mitigation,” *Prog. Mater. Sci.*, vol. 90, pp. 224–275, 2017.
- [3] A. A Abdala, “Applications of Graphene in Catalysis,” *J. Biofertilizers Biopestic.*, vol. 05, no. 01, 2014.[4] K. S. Novoselov *et al.*, “Electric field in atomically thin carbon films,” *Science (80-.)*, vol. 306, no. 5696, pp. 666–669, 2004.
- [5] “Search and analyze patents - PatentInspiration.” [Online]. Available: <http://www.patentinspiration.com/>. [Accessed: 02-Jul-2018].
- [6] N. Kheirabadi and A. Shafiekhani, “Graphene/Li-ion battery,” *J. Appl. Phys.*, pp. 1–19, 2012.
- [7] S. Kannappan *et al.*, “Graphene based Supercapacitors with Improved Specific Capacitance and Fast Charging Time at High Current Density,” 2013.
- [8] H. Cai *et al.*, “Nanostructured composites of one-dimensional TiO₂ and reduced graphene oxide for efficient dye-sensitized solar cells,” *J. Alloys Compd.*, vol. 697, pp. 132–137, 2017.
- [9] P. Gao *et al.*, “Crystalline Si/graphene quantum dots heterojunction solar cells,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 118, no. 10, pp. 5164–5171, 2014.
- [10] “Home | Thomson Reuters.” [Online]. Available: <https://www.thomsonreuters.com/en.html>. [Accessed: 02-Jul-2018].
- [11] “VOSviewer - Visualizing scientific landscapes.” [Online]. Available: <http://www.vosviewer.com/>. [Accessed: 11-Jul-2018].
- [12] Y. Wang *et al.*, “Supercapacitor Devices Based on Graphene Materials,” pp. 13103–13107, 2009.
- [13] H. Wang, L. Cui, Y. Yang, and H. S. Casalongue, “Mn₃O₄ - Graphene Hybrid as a High-Capacity Anode Material for Lithium Ion,” pp. 13978–13980, 2010.
- [14] E. Yoo, J. Kim, E. Hosono, H. Zhou, T. Kudo, and I. Honma, “Large Reversible Li Storage of Graphene Nanosheet Families for Use in Rechargeable Lithium Ion Batteries 2008,” pp. 13–18, 2008.
- [15] C. Liu, Z. Yu, D. Neff, A. Zhamu, and B. Z. Jang, “Graphene-Based Supercapacitor with an Ultrahigh Energy Density,” pp. 4863–4868, 2010.
- [16] Z. Wu *et al.*, “Graphene Anchored with Co₃O₄ Nanoparticles as Anode of Lithium Ion Capacity and Cyclic Performance,” vol. 4, no. 6, pp. 3187–3194, 2010.