

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA LA OBTENCIÓN DE GRAFENO

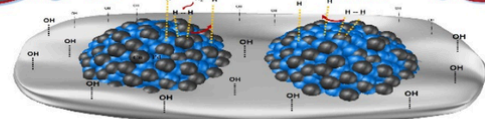
BOLETÍN CAMER, MAYO DE 2024



POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid



Semillero de Investigación en Valorización de Residuos



Semillero de Investigación en Desarrollo de Materiales Catalíticos

AUTORES

Melissa Arango-Alvarez¹,
Alba N. Ardila A.^{1*},
Erasmus Arriola-Villaseñor¹,
Eliana Berrio-Mesa¹,
Santiago A. Bedoya-Betancur¹,
Luz M. Ocampo-Carmona².

¹ Facultad de Ciencias y Educación, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín-Colombia.

² Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín - UNAL, Medellín Colombia.

*Email contacto:
anardila@elpoli.edu.co



@PolitecnicoJIC

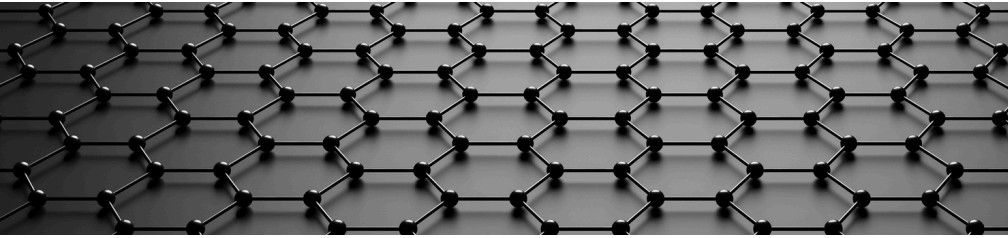


Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

www.politecnicojic.edu.co/

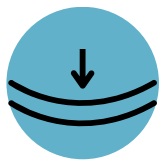
GRAFENO

EL MATERIAL MÁS VERSÁTIL DEL SIGLO XXI



El grafeno es un alótropo del carbón caracterizado por ser un material bidimensional organizado en patrones hexagonales, lo que le confiere propiedades excepcionales que conllevan a que el grafeno actualmente sea uno de los materiales más investigados debido al gran potencial que posee para ser utilizado en diversas aplicaciones, entre las que se encuentran la generación y almacenamiento de energía, materiales compuestos, electrónica, baterías, supercapacitores, entre otros.

PROPIEDADES



FLEXIBLE: es más flexible que la fibra de carbono



DURO: Su dureza es superior a la del diamante



ECOLÓGICO: Es carbono puro, como el grafito



CONDUCTOR: alta conductividad térmica y eléctrica



LIGERO: 1 m² pesa menos de 1 gramo



RESISTENTE: 200 veces más fuerte que el acero estructural



BIOCOMPATIBLE: No es tóxico para las células biológicas

Existen varios métodos para sintetizar grafeno, los cuales se dividen en dos categorías principales: los métodos Bottom-Up (BU), de tipo químico donde se utilizan átomos o moléculas simples como precursores para construir el material deseado. Por otra parte, los métodos Top-Down (TD) son procesos físicos que transforman el material inicial para obtener los materiales deseados. En cuanto al método BU, la cantidad de grafeno obtenido es relativamente baja, lo que genera que solo pueda usarse en aplicaciones específicas. Esto hace que este método no sea apropiado para la producción de láminas de grafeno de gran superficie y sea inadecuado para la industrialización. En el método TD, se usa el principio básico de la exfoliación de grafito como material de partida; el grafito es básicamente la unión de capas de grafeno unidas por fuerzas de Van der Waals.

Aunque el método TD es adecuado para la producción de grafeno a gran escala, la síntesis de grafito natural puro para la producción de grafeno requiere un alto consumo de energía y solventes tóxicos y, por lo tanto, son potencialmente peligrosos para el medio ambiente. Además, el grafito natural no es la mejor opción para la síntesis de grafeno ya que contiene impurezas naturales y ha sido clasificado como un recurso crítico por la Unión Europea (UE), lo que indica un alto riesgo de escasez de suministro que podría afectar gravemente a la economía.

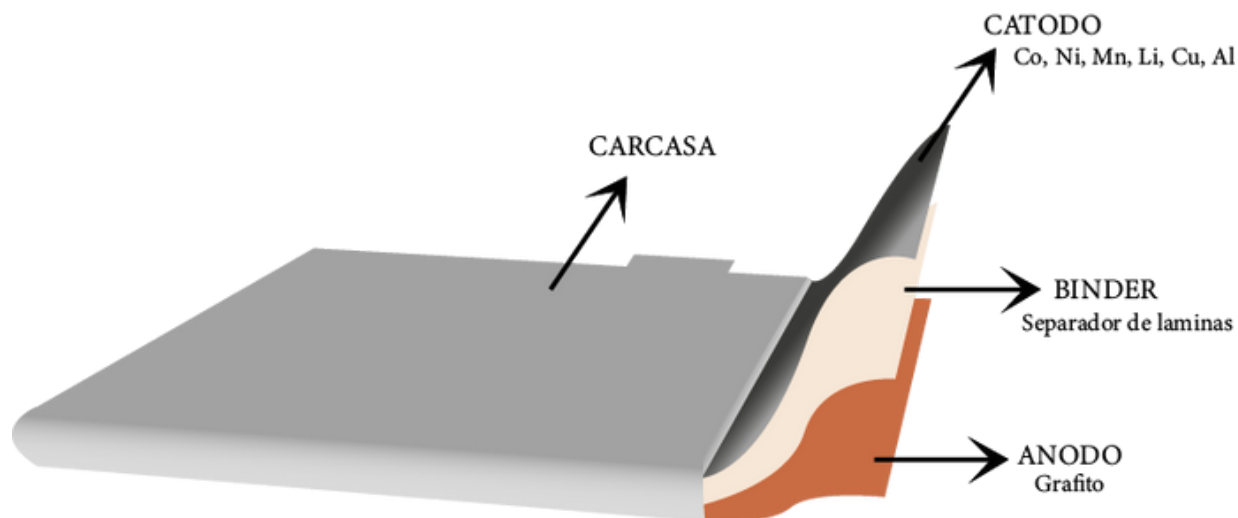
BATERIAS ION-LITIO

¿QUÉ SON Y CÓMO SE COMPONEN?



Las baterías ion-litio (BILs) son dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica y se conocen también como "baterías de almacenamiento" o "acumuladores", debido a que se pueden recargar eléctricamente después de la descarga, pasando corriente a través de ellas en la dirección opuesta a la de la corriente de descarga.

La mayoría de las baterías de ion-litio tienen un diseño similar, que consiste en un electrodo positivo de óxido metálico (cátodo), sobre un colector de corriente de aluminio, un electrodo negativo (ánodo), hecho de carbono o grafito, sobre un colector de corriente de cobre, además de un separador y un electrolito de sal de litio, más un disolvente orgánico.



DESAFÍO AMBIENTAL

Se prevé que la demanda mundial de baterías de iones de litio (LIB) aumente de 185 GWh en 2020 a más de 2000 GWh en 2030. Este rápido aumento tiene como objetivo satisfacer diversas aplicaciones emergentes, principalmente la tecnología de vehículos eléctricos (EV). Esto conllevará a problemas de eliminación de residuos en un futuro próximo, a medida que estas baterías lleguen al final de su vida útil. Entre los principales desafíos podemos encontrar:

GESTIÓN INADECUADA DE RESIDUOS

En muchos lugares, la infraestructura para el reciclaje de baterías de ion-litio es insuficiente, lo que provoca que muchas baterías usadas contaminen el medio ambiente al terminar en vertederos o ser incineradas.

TOXICIDAD DE LOS COMPONENTES

Las baterías de ion-litio contienen componentes dañinos como cobalto, níquel, manganeso y litio los cuales pueden contaminar suelos y aguas si no se gestionan adecuadamente, afectando la salud de ecosistemas y comunidades.

RECURSOS LIMITADOS

Los metales en las baterías de ion-litio, como el litio y el cobalto, son recursos no renovables. La creciente demanda puede llevar a la sobreexplotación de recursos naturales, causando serias consecuencias ambientales.



RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Las baterías de ion-litio pueden incendiarse o explotar si se dañan o exponen a temperaturas extremas sin descargar, lo que representa riesgos en almacenamiento y transporte.

IMPACTO DEL PROCESO DE RECICLAJE

Aunque el reciclaje de baterías de ion-litio puede recuperar materiales valiosos, el proceso en sí puede ser ambientalmente costoso. Las técnicas de reciclaje actuales pueden requerir grandes cantidades de energía y productos químicos peligrosos, lo que genera emisiones de gases de efecto invernadero y residuos tóxicos.

ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DE BATERÍAS ION-LITIO

RECUPERACION DE METALES

La recuperación de metales como litio, cobalto, níquel, manganeso, aluminio y cobre a partir de baterías de iones de litio desgastadas es un proceso viable para la sostenibilidad ambiental y económica. Los procesos de reciclaje actuales de LIB se desarrollaron basándose en técnicas metalúrgicas. Estos procesos normalmente someten las baterías a un pretratamiento mecánico y térmico para facilitar el paso de disolución mediante lixiviación ácida. Una vez que los metales están en solución, los componentes valiosos se separan selectivamente mediante precipitación, extracción con solventes o métodos electroquímico.

Esta recuperación contribuye a la reducción de la dependencia de la minería de metales vírgenes, por lo que también se disminuye el impacto ambiental asociado a la extracción y procesamiento de minerales. Sin embargo, las actuales tecnologías de reciclaje de baterías son costosas y complejas, ya que requieren inversiones significativas y exponen un alto riesgo ambiental y de salud debido a los metales pesados y electrolitos presentes en las baterías.



SINTESIS DE CATALIZADORES

Recuperar materiales valiosos de baterías de iones de litio gastadas brinda una oportunidad única para crear catalizadores avanzados. Es factible fabricar un catalizador multicomponente a base de cobalto (Co) soportado en un material carbonoso, utilizando los componentes recuperados de estas baterías. Este catalizador no solo es activo y selectivo, sino que también muestra una notable estabilidad, siendo idóneo para producir combustibles sintéticos. El cobalto, reconocido por su uso en superaleaciones metálicas y por su capacidad para mejorar la resistencia mecánica a altas temperaturas, también sobresale como un excelente catalizador.

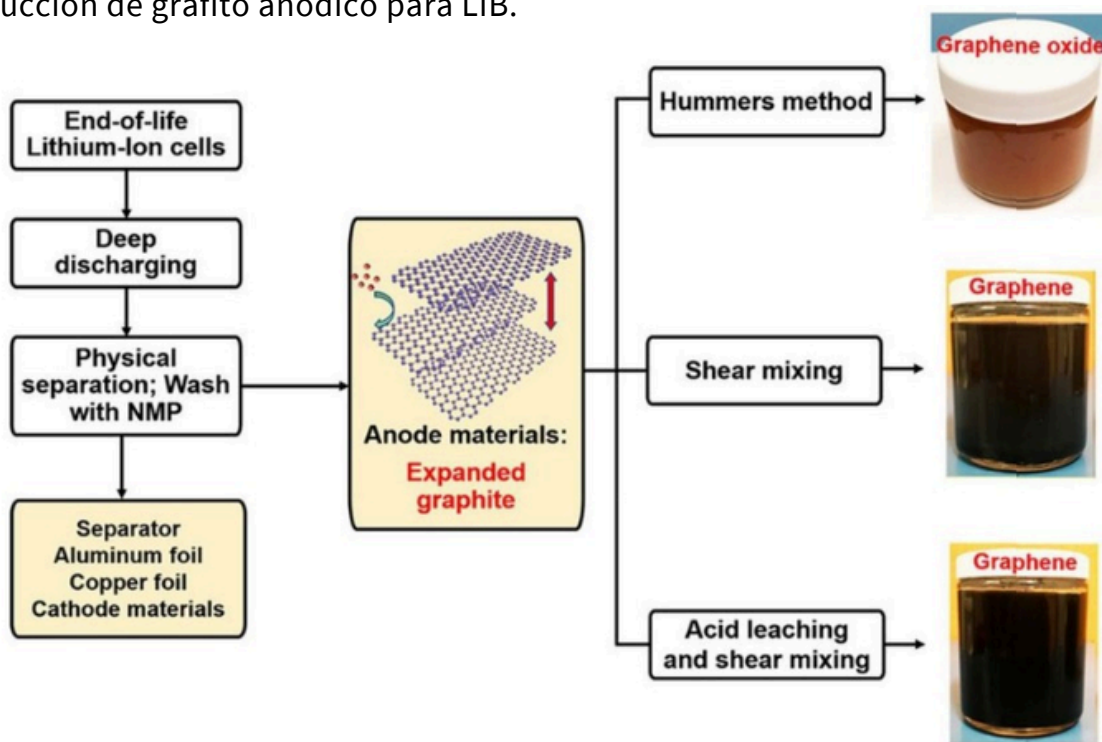
Recuperar y reutilizar estos componentes en aplicaciones catalíticas no solo fomenta la economía circular, sino que también proporciona una solución sostenible y eficiente para el procesamiento químico avanzado. Esta estrategia no solo reduce el impacto ambiental relacionado con la eliminación de baterías usadas, sino que también maximiza el valor de los recursos disponibles, en consonancia con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia industrial.

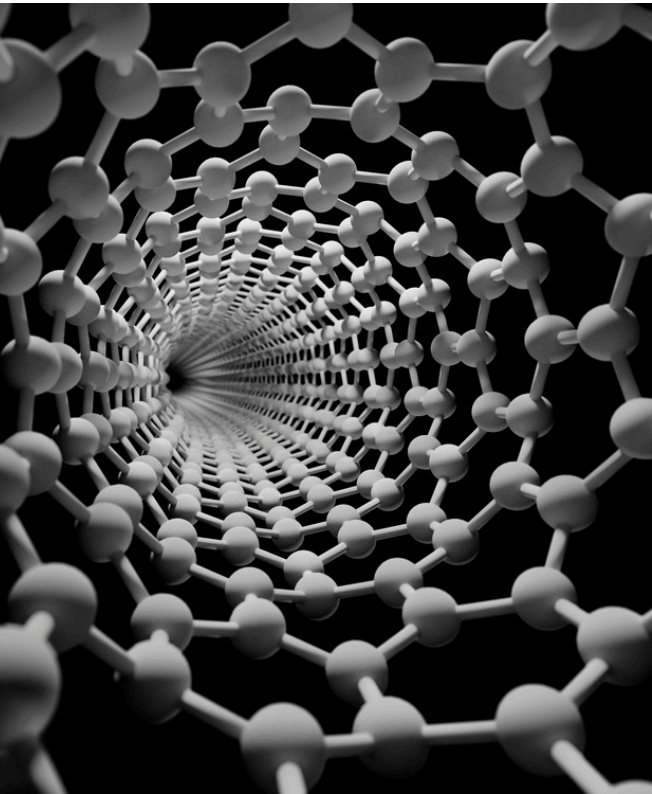
OBTENCION DE MATERIALES CARBONOSOS

Para la obtención de grafeno, óxido de grafeno (GO) y grafito a partir de baterías de ion litio (LIB) desgastadas, se emplean métodos avanzados de reciclaje y síntesis. El proceso se centra en recuperar el grafito anódico utilizado en LIB, este grafito se somete a técnicas de exfoliación física, química o electroquímica para separar las capas de grafeno.

Uno de los métodos clave es la oxidación del grafito para producir óxido de grafeno (GO) utilizando el método de Hummers modificado, que minimiza la liberación de gases tóxicos como NO_2 y N_2O_4 , mejorando así la seguridad y eficiencia del proceso. Por otra parte, La exfoliación en fase líquida mediante sonicación o mezcla de alto cizallamiento es preferida para la producción a gran escala de grafeno a partir de grafito recuperado. Este enfoque permite una separación eficiente de las capas de grafeno, aprovechando las propiedades de intercalación-desintercalación inducidas por el ciclo de la batería para facilitar la exfoliación.

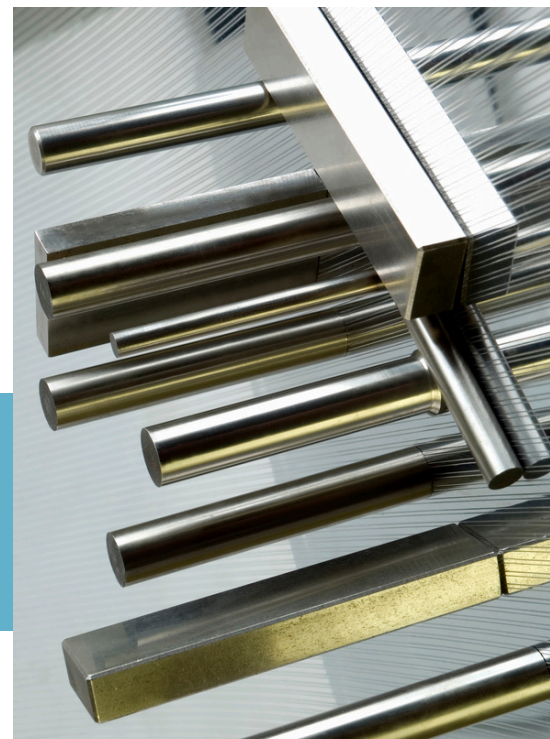
Además, el reciclaje de grafito no solo reduce la presión sobre la extracción de recursos naturales, sino que también ayuda a mitigar la contaminación asociada con el proceso de producción de grafito anódico para LIB.





¿QUÉ ESTRATEGIAS HEMOS IMPLEMENTADO EN CAMER PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA OBTENCIÓN DE MATERIALES CARBONOSOS Y METALES?

1. Hemos extraído diferentes metales a partir del cátodo de las BILs desgastadas para usarlos como precursores en la síntesis de catalizadores mono y multifuncionales.
2. Hemos estandarizado un método de exfoliación en fase líquida usando agua como solvente para la obtención de grafeno a partir del ánodo de las BILs desgastadas.
3. Hemos estandarizado un método asistido por microondas y ultrasonido para la obtención de grafeno a partir de residuos forestales de Pasto King Grass.
4. Hemos desarrollado materiales catalíticos multifuncionales a partir de BILs para su posterior aplicación en la síntesis de combustibles.
5. Hemos realizado un estudio técnico económico sobre la producción de grafeno a partir de residuos forestales de Pasto King Grass.



PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CNYN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en Ensenada-Baja California. **Caracterización Catalítica y Fisicoquímica de Materiales Carbonosos Multicomponente (Li-Mn) a base de Co Obtenidos a partir de Baterías de Ion Litio Gastadas para la Producción de Combustibles Sintéticos a Condiciones de Presión y Temperatura Moderadas.** Alba Nelly Ardila Arias, Erasmo Arriola Villaseñor, Santiago Alexander Bedoya Betancur, Trino Armando Zepeda Partida, Luz Marina Ocampo Carmona”, 2023.

Valorización integral de residuos postconsumo e industriales para el desarrollo de materiales con potencial catalítico bajo un enfoque de economía circular”, código 82312, aprobado en el marco de la Convocatoria No. 890, 2023-2026. Convocatoria para el fortalecimiento de CTel en Instituciones de Educación de Educación Superior (IES) Públicas, 2022-2026. Alba Nelly Ardila Arias, Luz Marina Ocampo Carmona, Leidy Hoyos, Pedro Delvasto, Andrés Moreno.



Desarrollo de materiales catalíticos basados en Co-Mn de residuos de baterías con aplicación potencial en la síntesis Fischer-Tropsch. Proyecto Doctoral Erasmo Arriola Villaseñor. Doctorado en Ingeniería - Materiales y Procesos. Universidad Nacional Sede Medellín, 2022-2025.

Desarrollo de un material catalítico a partir de residuos industriales o urbanos para la oxidación de alcoholes a productos de alto valor agregado. Proyecto Doctoral Santiago Alexander Bedoya Betancur. Doctorado en Ingeniería - Materiales y Procesos. Universidad Nacional Sede Medellín, 2022-2025.



ALIANZAS

Hemos articulados capacidades técnico-científicas para conformar una Red REDVAR para proponer estrategias a nivel nacional e internacional en la valorización de residuos, creación de conciencia ambiental y procesos investigativos con un enfoque de economía circular.



POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID

REDVAR

- Red de valorización de Residuos-

TRABAJANDO JUNTOS EN RED



ASOCIACIONES, EMPRESAS Y ENTIDADES GUBERNAMENTALES

- Superintendencia de Servicios Públicos
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
- Corporación Ruta N
- Corantioquia
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Asociación de Bananeros de Colombia – Augura
- Protecol S.A.C
- Gestión de Residuos, Unidades Residenciales
- Reecod S.A.S
- Dasein Circularidad
- Soluciones en Sostenibilidad y Polímeros, SOSPOL SAS
- Agropecuaria San Fernando, SAMIMAX Colombia
- Asociación Internacional para el Desarrollo Socioambiental
- RapiTerra Group S.A.S
- Grupo Arcoing S.A.S –PIRSA
- Green Delta S.A.S
- Geonatural S.A.S
- Fundación TU RIES
- Faro Tecnológico S.A.S
- Ekofuturista S.A.S. BIC
- Liliana Cosmetics
- CORNARE
- Contaminantes Orgánicos Persistentes
- Covatec
- Camacol Antioquia
- Biomastnest S.A.S, Soluciones Bioeconómicas
- Asociación de Recicladores Santuario
- Agrosavia
- 7 Vidas DeGato S.A.S BIC



ACADEMIA, UNIVERSIDADES

- Universidad Nacional de Colombia
- Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
- Universidad de Antioquia
- Universidad de Guanajuato
- Tecnológico de Antioquia
- Universidad Pontificia Bolivariana
- Instituto Educativo Tomás Carrasquilla
- Universidad Industrial de Santander
- Universidad del Quindío
- Universidad de Medellín
- Universidad de la Costa
- Universidad Santo Tomás
- Universidad ECCI
- Institución Universitaria Colegio Mayor
- Universidad de Concepción
- Instituto Tecnológico de Chascomús
- Universidad Nacional de San Martín
- Universidad Estadio Rio de Janeiro
- Universidad de Oviedo
- Universidad de Sao Paulo
- Instituto Politécnico Nacional, Guanajuato
- Universidad de Oviedo
- Universidad de Sevilla



PAISES

- Colombia
- México
- Chile
- Argentina
- Brasil
- España



MESAS DE TRABAJO

- Educación Ambiental
- Residuos Industriales
- Residuos de Demolición y Construcción
- Residuos Agroindustriales y Agropecuarios
- Efluentes Industriales
- Residuos Peligrosos
- Residuos no Peligrosos
- Residuos Urbanos
- Políticas Públicas
- Gestión, Desarrollo e Innovación
- Tránsito de Conocimiento

DESCUBRE NUESTRAS INVESTIGACIONES Y CONSULTA NUESTRAS PUBLICACIONES

Preliminary Economic Feasibility Study for Graphene Synthesis from King Grass at Laboratory Scale. Santiago Bedoya Betancur, Erasmo Arriola-Villaseñor, Alba N. Ardila A. Journal of Engineering Research, Vol. 3. No. 41 (2023) 1-14.

[Ver artículo](#)



Valorización de Residuos para la producción de Materiales Carbonosos. Memorias Primer Encuentro RedVAR. Alba Nelly Ardila Arias, Erasmo Arriola Villaseñor, Santiago Alexander Bedoya Betancur, Luz Marina Ocampo Carmona, 2023.

[Ver artículo](#)

..... ●

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID

REDVAR

- Red de valorización de Residuos-

Alba N. Ardila Arias^{1*}, Erasmo Arriola-Villaseñor², Santiago A. Bedoya-Betancur³, Eliana Berrio Mesa⁴, Hader Castaño Peláez⁵, Efraín Enrique Villegas González⁶, Lucas Blandón-Naranjo⁷

^{1*} Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Profesora Titular, Líder Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables, Medellín, Colombia

E-mail: anardila@elpoli.edu.co

Facultad de Minas
Sede Medellín

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID



III SIMPOSIO INTERNACIONAL 2022

CATÁLISIS AMBIENTAL Y ENERGÍAS RENOVABLES

CONSTANCIA

Alba N. Ardila A

Por la presentación **ORAL** del trabajo titulado:

"Análisis de la factibilidad del uso de biomasa de pasto King Grass para la síntesis de materiales de grafeno"

Organizado por:

El Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables CAMER, de la Facultad de Ciencias Básicas, Sociales y Humanas.
Celebrado del 13 al 17 de junio de 2022 en la modalidad virtual en la Ciudad de Medellín, Colombia.

Cesar Iván Navarro Criado

Vicerrector de Extensión E,
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Alba Nelly Ardila Arias

Lider Grupo de Investigación en Catálisis
Ambiental y Energías Renovables



Segundo Seminario de Investigación de Materiales y Nanotecnología



CERTIFICACIÓN

La directora del Segundo Seminario de Investigación de Materiales y Nanotecnología (2do SIMN),
certifican que el trabajo de investigación titulado:

**Desarrollo de materiales catalíticos basados en Co-Mn de residuos de
baterías con aplicación potencial en la síntesis Fischer-Tropsch**

Correspondiente a los autores **E Arriola Villaseñor, L M Ocampo-Carmona, A N Ardila**, fue
presentado en el 2^{do} SIMN realizado en la modalidad de presentación presencial.

Por su constancia, se suscribe en Medellín, Colombia, el 5 de diciembre de 2022.

Luz Marina Ocampo Carmona
Directora 2^{do} SIMN

Segundo Seminario de Investigación de Materiales y Nanotecnología (2^{do} SIMN)
sirmmn_med@una.edu.co

Análisis de la prefactibilidad del uso de biomasa para la síntesis de materiales de grafeno. Alba Nelly Ardila A., Erasmo Arriola-Villaseñor, Santiago A. Bedoya B. Memorias III SICAMER 2023.

[Ver artículo](#)

Desarrollo de materiales catalíticos basados en Co-Mn de residuos de baterías con aplicación potencial en la síntesis Fischer-Tropsch. Alba Nelly Ardila Arias, Erasmo Arriola Villaseñor, Santiago Alexander Bedoya Betancur, Luz Marina Ocampo Carmona. Libro de resúmenes del Segundo Seminario de Investigación de Materiales y Nanotecnología (2do SIMN), evento académico y científico auspiciado por la Vicedecanatura de Investigación y Extensión de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. ISSN 2805-8976.

[Ver artículo](#)

Valorización de baterías de desecho para la obtención de componentes para la síntesis de catalizadores heterogéneos soportados. Alba Nelly Ardila Arias, Erasmo Arriola Villaseñor, Santiago Alexander Bedoya Betancur, Luz Marina Ocampo Carmona. Memorias XIII Simposio Colombiano de Catálisis, 2023.

[Ver artículo](#)



Extracción de metales de baterías de descarte por métodos asistidos con ultrasonido y biomasa de residuos de naranja. Erasmo Arriola-Villaseñor, Luz Marina Ocampo, Alba Nelly Ardila A., Memorias de la Academia Mexicana de Catálisis del XLIV Encuentro AMIDIQ. Junio, 2023.

[Ver artículo](#)





Valorización de baterías de desecho para la obtención de grafeno por exfoliación en fase líquida. Erasmio Arriola-Villaseñor, Santiago Bedoya B., Alba Nelly Ardila A., Luz Marina Ocampo, José Manuel Romo Herrera, Trino A. Zepeda Partida, R. Rosas Cedillo. Memorias de la Academia Mexicana de Catálisis del XLV Encuentro AMIDIQ. Mayo, 2024.

[Ver artículo](#)



Estudio preliminar de la viabilidad económica para la síntesis de grafeno a partir de pasto King Grass a escala de laboratorio. Santiago Bedoya B., Erasmio Arriola-Villaseñor, R. Rosas Cedillo. Alba Nelly Ardila A., Lucas Blandón-Naranjo. Memorias de la Academia Mexicana de Catálisis del XLV Encuentro AMIDIQ. Mayo, 2024.

[Ver artículo](#)

CONCLUSIÓN

El concepto de residuo ha cambiado, actualmente se puede hablar de ellos como materias ya que de ellas es posible obtener materiales de valor agregado, fundamentándose en la economía circular, donde se busca maximizar el valor de los recursos existentes y minimizar el desperdicio.

La obtención de materiales carbonosos a partir de residuos forestales como el pasto King Grass y baterías de ion-litio de descarte es una alternativa técnica, económica y ambientalmente amigable. Al convertir residuos en recursos valiosos de manera eficiente, se promueve un ciclo de vida más sostenible y se fortalece el compromiso global con la protección del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) por la financiación del proyecto de investigación “Valorización integral de residuos postconsumo e industriales para el desarrollo de materiales con potencial catalítico bajo un enfoque de economía circular.”, código 82312, aprobado en el marco de la Convocatoria No. 890 de 2020. Convocatoria para el fortalecimiento de CTel en Instituciones de Educación de Educación Superior (IES) Públicas 2020”.

REFERENCIAS

1. Santiago Bedoya Betancur, Erasmo Arriola-Villaseñor, Alba N. Ardila A. (2023). Preliminary Economic Feasibility Study for Graphene Synthesis from King Grass at Laboratory Scale. *Journal of Engineering Research*, Vol. 3. No. 41 (2023) 1-14. <https://doi.org/10.22533/at.ed.3173412307121>.
2. Aboudaye M. Ahamed, Benjamin Swoboda, Zubin Arora, Jean Yves Lansot, Alexandre Chagnes. (2023). Low-carbon footprint diluents in solvent extraction for lithium-ion battery recycling. *RSC Adv.*, 2023, 13, 23334. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ra/d3ra04679f>
3. Maria del Mar Cerrillo-Gonzalez, Juan Manuel Paz-García*, Maria Muñoz-Espinosa, Jose Miguel Rodriguez-Maroto, Maria Villen-Guzman. (2023). Extraction and selective precipitation of metal ions from LiCoO₂ cathodes using citric acid. Volume 592, 1 February 2024, 233870. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775323012466>
4. Nathalia Viecele, Thomas Ottink, Srečko Stopić, Christian Dertmann, Thomas Swiontek, Claudia Vonderstein, Reiner Sojka, Niclas Reinhardt, Christian Ekberg, Bernd Friedrich, Martina Petranikova. (2022). Solvent extraction of cobalt from spent lithium-ion batteries: Dynamic optimization of the number of extraction stages using factorial design of experiments and response surface methodology. *Volume 307*, 15 February 2023, 122793. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586622023504>
5. Madhusoodhanan Lathika Divya, Subramanian Natarajan and Vanchiappan Aravindan. (2022). Graphene from Spent Lithium-Ion Batteries. *Batteries & Supercaps* 2022, 5, e202200046 (1 of 12). <https://chemistryeurope.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/batt.202200046>
6. Hu, K.; Brambilla, L.; Sartori, P.; Moscheni, C.; Perrotta, C.; Zema, L.; Bertarelli, C.; Castiglioni, C. Development of Tailored Graphene Nanoparticles: Preparation, Sorting and Structure Assessment by Complementary Techniques. *Molecules* 2023, 28, 565. <https://doi.org/10.3390/molecules28020565>