

MODELO CONCEPTUAL DE SUSTENTABILIDAD PARA LAS BATERÍAS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS EN BOGOTÁ - COLOMBIA: PERSPECTIVAS A 2050 – UN ESTADO DEL ARTE

Autora: Rodrigo Rey-Galindo ¹ – rreyg@udistrital.edu.co

Docente director: Juan Carlos Alarcón

Semillero de Investigación INNBIO

RESUMEN PONENCIA

La movilidad sustentable es una estrategia importante en el marco de la mitigación del cambio climático (Hergart, 2022), lo que representa menor consumo de combustibles y generación de emisiones de CO₂ (Castillo et al., 2024). Estos vehículos presentan diferentes denominaciones, como eléctricos o híbridos. El uso de vehículos híbridos en los últimos años ha crecido rápidamente en Colombia (ANDI & FENALCO, 2025) y en la ciudad de Bogotá (SDM, 2025). Este tipo de vehículos utilizan un pack de baterías de Ion Litio (Li-ion) o de Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH) (Ogura & Kolhe, 2017; Wu et al., 2025; Zagorodny, 2023), que dependen de la marca del vehículo. En el futuro se van a

generar grandes volúmenes de baterías usadas que se convertirán en residuos peligrosos (Decreto 1076 de 2015). La velocidad en la evolución tecnológica de los vehículos híbridos es demasiado rápida, por ello, en países como Colombia, no existen modelos de gestión o normas específicas, además del desconocimiento de los impactos relacionados con estas baterías (Zagorodny, 2023).

Asimismo, como objetivo general de la investigación se plantea el reconocer los avances en el estado del arte sobre el manejo de baterías de vehículos híbridos en Bogotá y tres objetivos específicos, Identificar la tendencia sobre los vehículos híbridos en diferentes contextos territoriales. Conocer las baterías utilizadas en los vehículos

¹ Doctorado en Ambiente e Ingeniería Sustentable, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

híbridos Describir la estructura actual normativa y modos de manejo ambiental de las baterías de los vehículos híbridos. La metodología se fundamenta en Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres (2018), con una estructura mixta, cuantitativa y cualitativa. Además, se plantea desde el paradigma interpretativo (Vasilachis de Gialdino, 2006) y la hermenéutica general (Grondin, 2014). Desde el 2010 ha aumentado la comercialización de Vehículos Eléctricos e Híbridos (VEH) en el mundo, para el 2024 existían aproximadamente 40 millones, China 45%, Unión Europea 25% y Estados Unidos 11% (IEA, 2024). En el país, desde el 2014 a mayo del 2025, ingresaron 145.831 VEH (ANDI & FENALCO, 2025), el 84,6% vehículos híbridos (VH) y el 15,4% eléctricos.

En Bogotá los vehículos registrados a junio de 2025 fueron 74.523, el 81.32% son híbridos y 18.68% eléctricos, y desde el año 2020 se muestra una tendencia muy rápida en VH (SDM, 2025). El interés por el consumo de los VEH se da por la disminución de emisiones de

CO₂ (Bieker, 2021; Castillo et al., 2024; Hergart, 2022; Koroma et al., 2022) lo que está conectado con el cambio climático (Houghton, 2015; IPCC, 2024; Losada et al., 2020). El aporte mundial en toneladas de CO₂ del sector transporte fue de 23.38% (IEA, 2023a), en la Unión Europea al 71,7% (European Parliament, 2025), en Estados Unidos 39% (EIA, 2025) y en Colombia el 28% (IEA, 2023b). El uso de estos vehículos permite avanzar en el cumplimiento de los compromisos internacionales de París 2015, las metas de Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC) y la Ley 2169 de 2022, que plantea tener 600,000 vehículos eléctricos para el 2030 en Colombia (MinAmbiente et al., 2020), y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2025; SDG Index & Dashboards, 2025). De acuerdo con Castillo y otros (2024), las emisiones de CO₂ de un vehículo a gasolina corresponde a 122 g/km, un vehículo híbrido enchufable son 55 g/km, y uno híbrido presenta 100 g/km. El eléctrico no genera emisiones en su fase de

uso. Es así que Manzetti y Mariasiu (2015) determinan que las emisiones por el uso de un vehículo eléctrico se reducen hasta un 87% y en híbridos un 27 %.

Dado el rápido avance tecnológico de los productores de estos vehículos, se presenta un atraso en el abordaje de las baterías fuera de uso en el marco normativo y técnico para su manejo (González, 2021). El manejo ambiental actual presenta tres posibilidades: la Remanufacturación, la Reutilización (Segunda vida), y el Reciclaje (Liu et al., 2022; Schulz-Mönninghoff et al., 2021). Según el diseño, pueden ser reparadas o restauradas (refurbishing) (Koroma et al., 2022). En relación a las baterías que actualmente se encuentran fuera de uso en el país y en Bogotá, la información es insuficiente, en parte, a que es un mercado emergente, dada la vida útil de las baterías (de 8 a 10 años), y se calcula a partir de ciclos de carga/descarga (Hao et al., 2022; Marques et al., 2019) Sin embargo, se prevé un aumento para el 2030 del 25% en el uso de baterías de litio con un crecimiento de

14 veces en el mundo (de Miguel et al., 2023). En Colombia, las baterías hacen parte de los residuos peligrosos (Decreto 1076 de 2015), pero se encuentran catalogadas como Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) (Ley 1672 de 2013 y Decreto 284 de 2018). La Resolución 851 de 2022 las clasifica en la subcategoría de “Pilas y Acumuladores” establece que su manejo se realiza mediante Sistemas de Recolección Selectiva y señala una alta generación de RAEE, una baja tasa de recolección, y una gestión ambiental inadecuada.

En el manejo de las baterías utilizadas por los VH se presentan tres requerimientos esenciales que condicionan a las industrias involucradas, estos son “la responsabilidad extendida del productor (REP), la gestión de residuos peligrosos y el reciclaje al final de su vida útil” (CAS & Deloitte, 2024, p. 3). Además, se busca la integración con la economía circular (Qu, 2022). Actualmente en el país son dos las organizaciones que se

encargan del reciclaje mecánico a pequeña escala, y otras dos empresas que trabajan con iniciativas de segunda vida (López-Hernández et al., 2024; Zagorodny, 2023). Sin embargo, todavía hay una brecha muy grande para la recuperación o tratamiento seguro de las baterías que terminan su vida útil.

Como resultados esperados, a partir del Estado del Arte, se formulará y diseñará el Modelo Conceptual de Sustentabilidad para las baterías de los VH en Bogotá, relacionados con la identificación de puntos de influencia e impactos en la economía, sociedad y ambiente, escenarios de flujos para 2050, evaluación de beneficios ambientales y, rutas críticas para la industria local. Además de artículos en revistas indexadas y la Tesis doctoral.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANDI, & FENALCO. (2025). *Informe de Vehículos Nuevos (p. 22) [Boletín]. Asociación Nacional de Industriales (ANDI) y Federación Nacional de Comerciantes (FENALCO).*

<https://drive.google.com/file/d/1pCFS6mGUw56sCxjReO4hzEDEbAMY50nf/view>

- Bieker, G. (2021). *A global comparison of the Life-cycle Greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars (p. 80). International Council on Clean Transportation (ICCT).* <https://theicct.org/publication/a-global-comparison-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-combustion-engine-and-electric-passenger-cars/>
- CAS, & Deloitte. (2024). *Lithium-ion Battery Recycling: Market and Innovation Trends for A Green Future (p. 33). CAS Division of American Chemical Society and Deloitte China.* <https://web.cas.org/marketing/pdf/INSGENENGBRO102412-CAS-Insights-Lithium-Ion-Full-Report-Digital.pdf>

- Castillo, J. C., Uribe, A., Idárraga, M., Giraldo, M., Tibaquirá, J. E., & Ospina, S. (2024). Análisis comparativo del consumo de combustible y las emisiones entre vehículos eléctricos híbridos y convencionales: Una perspectiva basada en los niveles de hibridación. *XVI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 1-9.*
- EIA. (2025). *Total Energy— U.S. Energy Information Administration (EIA).* <https://www.eia.gov/totalenergy/index.php>
- European Parliament. (2025). *CO2 emissions from cars: Facts and figures (infographics). Topics | European Parliament.* <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>
- González, C. S. (2021). *Estudio de la economía circular en los vehículos eléctricos e híbridos enchufables: Segunda vida y reciclaje de sus baterías [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid].* <https://oa.upm.es/67467/>
- Grondin, J. (2014). *¿Qué es la hermenéutica? (A. Martínez, Trad.). Herder Editorial.* <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctvt7x88s>
- Hao, H., Xu, W., Wei, F., Wu, C., & Xu, Z. (2022). Reward–Penalty vs. Deposit–Refund: Government Incentive Mechanisms for EV Battery Recycling. *Energies, 15(19), 6885.* <https://doi.org/10.3390/en15196885>
- Hergart, C. (Ed.). (2022). *Sustainable Transportation. En Engines and Fuels for Future Transport (pp. 7-38).* Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8717-4>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza

- Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (1.a ed.)*. McGraw-Hill Interamericana Editores S. A. de C.
- Houghton, J. (2015). *Global Warming: The complete briefing (Fifth Edition)*. Cambridge University Press.
 - IEA. (2024). *Global EV Outlook 2024*. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
 - IEA. (2023a). *CO2 emissions by sector, World, 1990-2022* [Institucional]. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>
 - IEA. (2023b). *Colombia 2023: Energy Policy Review (p. 164)*. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/colombia-2023>
 - IPCC. (2024). *The Intergovernmental Panel on Climate Change [Government]. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the United Nations body for assessing the science related to climate change*. <https://www.ipcc.ch/>
 - Koroma, M. S., Costa, D., Philippot, M., Cardellini, G., Hosen, M. S., Coosemans, T., & Messagie, M. (2022). Life cycle assessment of battery electric vehicles: Implications of future electricity mix and different battery end-of-life management. *Science of The Total Environment*, 831, 154859. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154859>
 - Liu, W., Placke, T., & Chau, K. T. (2022). Overview of batteries and battery management for electric vehicles.

- Energy Reports*, 8, 4058-4084. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.03.016>
- López-Hernández, V., Hilbert, I., Gascón Castellero, L., Manhart, A., García, D., Nkongdem, B., Dumitrescu, R., Sucre, C. G., & Ferreira Herrera, C. (2024). *Reciclaje y reúso de baterías de litio en América Latina y el Caribe: Revisión analítica de prácticas globales y regionales (p. 167) [Nota Técnica No. IDB-TN-02893]*. *Inter-American Development Bank (IDB)*. <https://doi.org/10.18235/0005660>
 - Losada, I. J., Schrag, D. P., Borge, R., Dunlop, K., Gerten, D., Herzog, H. J., Juanes, R., Lera St-Claire, A., Linares, P., Lumbreras, J., & Moreno, J. M. (2020). *Cambio climático: Bases científicas y cuestiones a debate (1a ed)*. *Universidad Politécnica de Madrid y Fundación Naturgy*.
 - Manzetti, S., & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1004-1012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.010>
 - Marques, P., Garcia, R., Kulay, L., & Freire, F. (2019). Comparative life cycle assessment of lithium-ion batteries for electric vehicles addressing capacity fade. *Journal of Cleaner Production*, 229, 787-794. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.026>
 - MinAmbiente, Ministerio de Relaciones Exteriores, & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). *NDC Colombia: Actualización 2020 (p. 176) [Contribución Determinada a Nivel Nacional]*. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Relaciones Exteriores e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/>

/uploads/2022/05/

NDC_Libro_final_digital-1.pdf

- Ogura, K., & Kolhe, M. L. (2017). 4— Battery technologies for electric vehicles. En *Electric Vehicles: Prospects and Challenges* (pp. 139-167). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803021-9.00004-5>
- ONU. (2025). *Objetivos de Desarrollo Sostenible [17 objetivos para transformar nuestro mundo]*. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Qu, T. (2022). Assessing and Comparing Different Policies Regarding Recycling Lithium-ion Batteries. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 26, 1-5. <https://doi.org/10.54097/hset.v26i.3632>
- Schulz-Mönninghoff, M., Bey, N., Nørregaard, P. U., & Niero, M. (2021). Integration of energy flow modeling in life cycle assessment of electric vehicle battery repurposing: Evaluation of multi-use cases and comparison of circular business models. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105773. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105773>
- SDG Index & Dashboards. (2025). *Sustainable Development Report 2024*. <https://dashboards.sdgindex.org/>
- SDM. (2025). *Registro Distrital Automotor [Institucional]*. Secretaría Distrital de Movilidad (SDM). <https://observatorio.movilidadbogota.gov.co/tableros/registro-distrital-automotor>
- Vasilachis de Gialdino, I. (2006). La investigación cualitativa. En *Estrategias de investigación cualitativa*. Gedisa.
- Wu, W., Li, M., Yang, Y., Huang, B., Wang, S., & Huang, G. Q. (2025).

Optimal deposit-

return strategies for the recycling of spent electric automobile battery: Manufacturer, retailer, or consumer. *Transport Policy*, 164, 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.01.035>

- Zagorodny, J. P. (2023). *Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular (Vol. 173)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).