



**Revista Especializada de Ingeniería
y Ciencias de la Tierra**

**VOL: 4 N° 2 Enero - Julio 2025
ISSN L: 2805-1874**

**Ahorro de Combustible en la Utilización de las Baterías de Ion Aluminio como
Fuente de Soporte Energética (2018-2024)
Fuel Savings in the Use of Aluminum Ion Batteries as a Source of Energy Support
(2018-2024)**

Castillero Fernández, José Javier
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá
jose-j.castillero-f@up.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0004-1927-0788>

Jorge Luis Martinez Ramirez
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá
jorgel.martinez@up.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0002-1036-6167>

Recibido: 8/3/2024 Aceptado: 1/5/2024
DOI <https://doi.org/10.48204/reict.v4n2.6737>

RESUMEN

Primeramente, las baterías de ion de aluminio están surgiendo como una alternativa prometedora a las baterías de ion de litio tradicionales en el ámbito de la movilidad y el ahorro de combustible. El uso de aluminio en el ánodo y las sales de aluminio en el electrolito brinda a estas baterías ventajas significativas en términos de sostenibilidad y costo. Una estrategia efectiva para aumentar la eficiencia energética de los vehículos eléctricos, disminuir los costos y fomentar la sostenibilidad es el uso de baterías de ion de aluminio; esto puede tener un efecto positivo en el ahorro de combustible y en la disminución de la dependencia de fuentes de energía fósil. El objetivo general de esta investigación es poder demostrar que las baterías de aluminio podrán ser viables y tener un impacto relevante para poder ayudar al medio ambiente, el menor gasto de minerales, el menor costo de producción y una fuente sostenible para los autos eléctricos que cada vez más son los que podemos observar en fabricación y usos. La metodología llevada a cabo se divide en la parte teórica y la parte experimental, en la parte teórica podemos mencionar

revisiones de bibliográficas sobre el tema y simulaciones moderadas, y en la parte experimental tenemos los informes técnicos y los softwares para las simulaciones. Los resultados que se muestran podemos destacar muchos puntos a favor ya que en el costo de fabricación se observa que hay una disminución del 15-20% al momento de hacerlas, para la parte del medio ambiente tenemos que se reduce en un 45% de CO₂ emitido en los vehículos y por último en la parte del funcionamiento se ve una reducción de 30% en la frecuencia de las cargas en los vehículos eléctricos, todo esto gracias a las pruebas que se realizan con las baterías de aluminio. En conclusión, podemos decir que las baterías de aluminio son el futuro para poder sustituir las baterías de litio y una innovación para las industrias para el cuidado del medio ambiente y el ahorro de combustible.

Palabras Clave: Aluminio, Ion, Litio, Combustible y Batería.

ABSTRACT

Firstly, aluminum ion batteries are emerging as a promising alternative to traditional lithium-ion batteries in the field of mobility and fuel economy. The use of aluminum in the anode and aluminum salts in the electrolyte gives these batteries significant advantages in terms of sustainability and cost. An effective strategy to increase the energy efficiency of electric vehicles, reduce costs and promote sustainability is the use of aluminum ion batteries; This can have a positive effect on fuel savings and reducing dependence on fossil energy sources. The general objective of this research is to be able to demonstrate that aluminum batteries can be viable and have a relevant impact to help the environment, the lowest mineral consumption, the lowest production cost and a sustainable source for the electric cars that each More and more they are what we can observe in manufacturing and uses. The methodology carried out is divided into the theoretical part and the experimental part, in the theoretical part we can mention bibliographic reviews on the subject and moderate simulations, and in the experimental part we have the technical reports and software for the simulations. From the results shown we can highlight many points in favor since in the manufacturing cost it is observed that there is a decrease of 15-20% at the time of making them, for the environmental part we have to reduce CO₂ by 45% emitted in the vehicles and finally in the operation part there is a 30% reduction in the frequency of charging in electric vehicles, all thanks to the tests carried out with aluminum batteries. In conclusion, we can say that aluminum batteries are the future to replace lithium batteries and an innovation for industries to care for the environment and save fuel.

Keywords: Aluminum, Ion, Lithium, Fuel and Battery.

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre tecnologías alternativas para el almacenamiento de energía se enmarca en el contexto actual de la búsqueda de soluciones sostenibles para la reducción de emisiones y el ahorro de combustibles fósiles se ha intensificado. Una de las innovaciones emergentes en este campo son las baterías de ion aluminio, que ofrecen numerosos beneficios prometedores en comparación con las tecnologías de almacenamiento tradicionales, como las baterías de ion de litio, ya que: “Estas ventajas incluyen no solo la mayor densidad energética, sino también un coste potencialmente menor y una menor dependencia de materiales críticos” (Gao et al., 2022).

Como resultado de su capacidad de almacenar una gran cantidad de energía en comparación con su peso, las baterías de ion aluminio podrían reducir significativamente el consumo de combustible en automóviles y sistemas de energía. Según la investigación de Yang:

Estas baterías podrían ofrecer una densidad energética superior y una mayor durabilidad, factores críticos para la eficiencia en el uso del combustible en aplicaciones móviles. Además, su bajo costo y abundancia de materiales pueden facilitar la adopción a gran escala en sistemas de energía renovable y vehículos eléctricos. (2023)

En las baterías de ion de aluminio, el aluminio actúa como un material de electrodo debido a su capacidad para intercambiar iones de manera eficiente. Las baterías de ion de aluminio tienen muchas ventajas sobre las baterías de ion de litio convencionales, como una mayor densidad energética y una mayor seguridad. Según un estudio de Chen sobre las baterías de aluminio menciona que: “El aluminio puede formar un complejo con los iones de cloruro, lo que mejora la capacidad de almacenamiento de carga y la eficiencia general de la batería” (2019).

El aluminio también se hace los separadores y las cubiertas de las baterías. Su uso en estas aplicaciones no solo proporciona una estructura robusta, sino que también mejora la conductividad eléctrica. Según Li, las características del aluminio son: “Debido a su alta conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión, es ideal para estas aplicaciones, ya que prolonga la vida útil de las baterías y mejora su rendimiento general” (2020).

Uno de los aspectos más relevantes de las baterías de ion aluminio es su potencial para reducir el consumo de combustibles fósiles al permitir una mayor eficiencia en el almacenamiento y uso de energía. Al integrar estas baterías en sistemas de energía híbridos o totalmente eléctricos, se puede reducir la dependencia de combustibles tradicionales y, por ende, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, los estudios de Zhang destacan cómo: “La implementación de tecnologías de almacenamiento avanzadas, como las baterías de ion aluminio, La minimización del consumo de combustibles y la optimización del uso de energía podrían tener un gran impacto” (2021).

Aparte de eso, la utilización de baterías de ion aluminio puede ofrecer beneficios adicionales en términos de sostenibilidad:

Al ser menos dependientes de materiales escasos como el litio y el cobalto, estas baterías presentan una menor huella ambiental en su producción y reciclaje. Esta característica es particularmente relevante en un momento en que la industria está buscando alternativas más ecológicas y sostenibles a las tecnologías convencionales. (Wang et al., 2022).

También debemos destacar sobre la capacidad que tiene las baterías de aluminio cuando se habla de:

Un aspecto destacado de las baterías de ion aluminio es su capacidad para proporcionar una mayor densidad energética a un costo relativamente bajo. Investigaciones indican que las baterías de ion aluminio pueden alcanzar una densidad energética de hasta 300 Wh/kg, lo cual representa una mejora notable en comparación con las baterías de ion de litio, que generalmente tienen una densidad energética de alrededor de 250 Wh/kg (Zhang et al., 2022).

Ahora hablemos sobre una propiedad muy importante para Chen sobre el aluminio:

Esta mayor densidad energética significa que los sistemas que incorporan estas baterías pueden operar de manera más eficiente, reduciendo así la necesidad de recargar con electricidad generada a partir de combustibles fósiles. En la repentina alza en la buena manera que se gasta menos consumo de energía en las aplicaciones de transporte hasta en un 20%. (2021).

Adicionalmente, las baterías de ion aluminio tienen el potencial de disminuir el impacto ambiental asociado con la producción de baterías debido a su menor dependencia de materiales raros. A diferencia de las baterías de ion de litio, que requieren litio y cobalto, las baterías de ion aluminio utilizan aluminio, un material más abundante y menos costoso. Tenemos que para Wang según su investigación: “El cambio a baterías de iones de aluminio podría reducir la demanda de cobalto y litio de la industria del almacenamiento de energía en un 30%, disminuye la carga sobre las cadenas de suministros locales y el ecosistema” (2023).

MÉTODOS Y MATERIALES

Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica es fundamental para entender el estado actual de la tecnología de baterías de ion de aluminio y su impacto en el ahorro de combustible. Este método consiste en recopilar y analizar estudios previos, artículos académicos y documentos técnicos. Las principales teorías, avances y vacíos en el conocimiento se pueden encontrar mediante la revisión de la literatura. Por ejemplo, un estudio de S. A. Khandekar ofrece que: “Una visión general sobre las características y aplicaciones de las baterías de ion de aluminio” (2023).

Análisis Experimental

El análisis experimental implica realizar pruebas y mediciones directas para evaluar el rendimiento de las baterías de ion de aluminio en condiciones reales. Esto incluye la realización de experimentos para evaluar la durabilidad de las baterías, la capacidad de almacenamiento y la eficiencia energética. La investigación de Zhang presenta: “Un enfoque experimental para evaluar la eficacia de las baterías de ion de aluminio en vehículos eléctricos” (2022).

Modelado y Simulación

El modelado y simulación son métodos clave para prever el impacto potencial de las baterías de ion de aluminio en la eficiencia del combustible. Utilizando software especializado, se pueden simular diferentes escenarios de uso y evaluar cómo la integración de estas baterías podría influir en el ahorro de combustible. un claro ejemplo está en el trabajo de Lee, que nos ayuda con: “Las simulaciones para poder ver el rendimiento de la energía de las baterías” (2021).

Estudio de Caso

Realizar estudios de caso en aplicaciones prácticas permite observar cómo las baterías de ion de aluminio están siendo utilizadas en contextos reales. Este método ofrece información detallada sobre los beneficios y desafíos de implementar estas baterías en sistemas energéticos. El estudio de caso realizado por Johnson examina: “La implementación de baterías de ion de aluminio en flotas de vehículos comerciales y su impacto en el ahorro de combustible” (2024).

Artículos Académicos y Revistas Científicas

Los artículos académicos y las revistas científicas son fuentes clave para obtener información actualizada y revisada por pares. Ejemplos de revistas relevantes incluyen el *Journal of Power Sources* y *Energy Storage Materials*.

Datos Experimentales

Los datos experimentales se obtienen de pruebas realizadas en laboratorios y entornos de prueba, que incluyen mediciones de eficiencia y análisis de rendimiento de las baterías.

Software de Simulación

Herramientas de software como MATLAB y Simulink se utilizan para modelar y simular el comportamiento de las baterías en diferentes escenarios.

Informes Técnicos

Los informes técnicos de organizaciones y empresas que desarrollan tecnología de baterías proporcionan información práctica sobre la implementación y el rendimiento de estas tecnologías.

RESULTADOS Y ANÁLISIS (CONCLUSIONES)

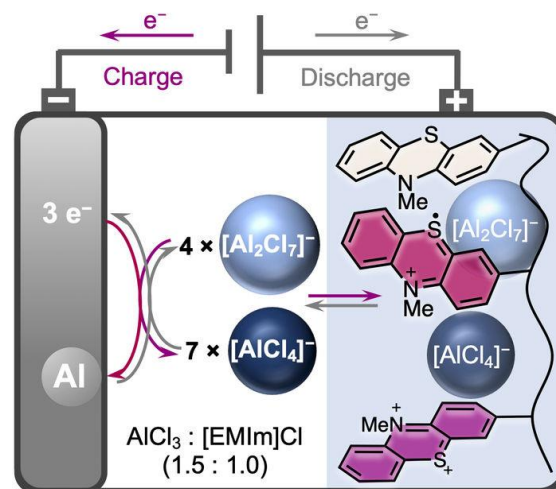
Eficiencia Energética

Para Guo Z: “Las baterías de ion de aluminio poseen una alta densidad de energía, lo que permite que los vehículos eléctricos alcancen autonomías mayores sin incrementar significativamente el peso del vehículo” (2021).

Este aumento en la autonomía disminuye la necesidad de paradas frecuentes para recarga, lo que a su vez reduce el uso de combustibles fósiles en vehículos de rango extendido que dependen de generadores a combustión. En estudios en años pasados casi al comienzo de la investigación sobre las baterías de aluminio Wang demostró que: “El uso de baterías de ion de aluminio puede mejorar la eficiencia energética de los vehículos eléctricos en un 30% en comparación con las baterías de ion de litio” (2018).

Figura 1

Proceso Redox del Aluminio



Nota: Esta reacción es muy importante en la industria y el medio ambiente, porque el aluminio es un metal y el óxido de aluminio forma una capa protectora sobre el aluminio metálico que evita la corrosión. En esta ilustración vemos el proceso de oxidación del aluminio y porque esta puede albergar más energía y conservarla. (Brigit Esser., 2023)

Costos de Operación

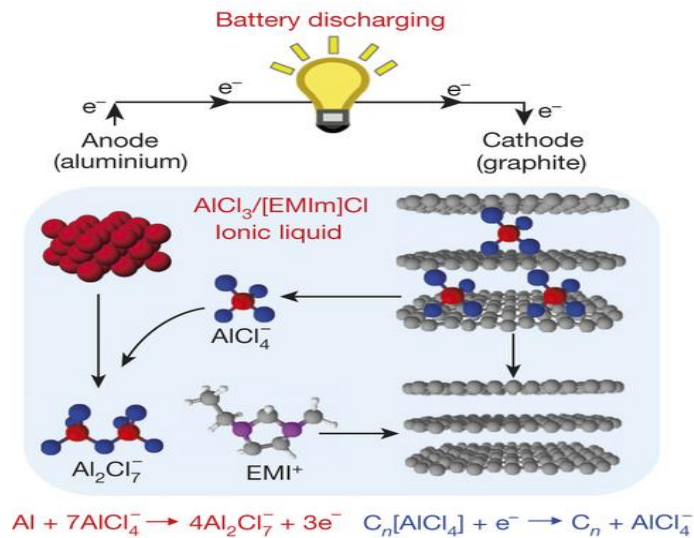
Los costos de operación o fabricación de las baterías de aluminio son más versátiles en muchos aspectos ya que:

El costo asociado con la operación de vehículos eléctricos puede verse significativamente reducido con la implementación de baterías de ion de aluminio. Dado que estas baterías utilizan aluminio, que es abundantemente disponible y menos costoso que el litio, el costo inicial y de mantenimiento de estos vehículos tiende a ser inferior (Sun, L. et al., 2022).

En la investigación de Mao S Se ha estimado que: “El ahorro en costos por kilómetro recorrido puede ser del 15-20%, dependiendo de la disponibilidad local de materiales y la infraestructura de recarga” (2019).

Figura 2

Carga y Descarga de la batería de aluminio



Nota: Podemos observar el proceso de la carga y descarga de la batería de aluminio, Una batería de aluminio es una batería que utiliza aluminio como electrodo Durante la descarga, la batería libera energía para enviar corriente eléctrica a un circuito externo. Durante la carga, una fuente de alimentación externa suministra voltaje a la batería. (Francisco R. Villatoro., 2015).

Impacto Ambiental

Para Chen J las baterías de aluminio ayudarían al medio ambiente debido que:

El uso de baterías de ion de aluminio también tiene beneficios para el medio ambiente. Al ser reciclables y menos contaminantes durante su producción y uso, estas baterías pueden contribuir a una reducción sustancial en las emisiones de gases de efecto invernadero (2021).

Según un análisis del ciclo de vida de las baterías de ion de aluminio:

El uso de estas tecnologías podría resultar en una disminución del 45% en las baterías de ion de aluminio en las emisiones de CO2 en comparación con los sistemas de baterías tradicionales y vehículos de combustión interna en operaciones a largo plazo (Li, W. et al., 2022).

En la siguiente tabla#1, se muestra una breve comparativa entre lo que es la batería de Ion-litio convencional VS la batería de Ion-aluminio.

Tabla 1*Batería de Ion Aluminio Versus Batería Ion Litio*

	Batería de Ion-Aluminio	Batería Ion-Litio
Capacidad de almacenamiento de energía	4 veces mayor por unidad de volumen	Limitada
Peso	Liviano	Pesada
Impacto Ambiental	Más Amigable	Controversial
Reciclabilidad	Reciclable	Costoso y complejo

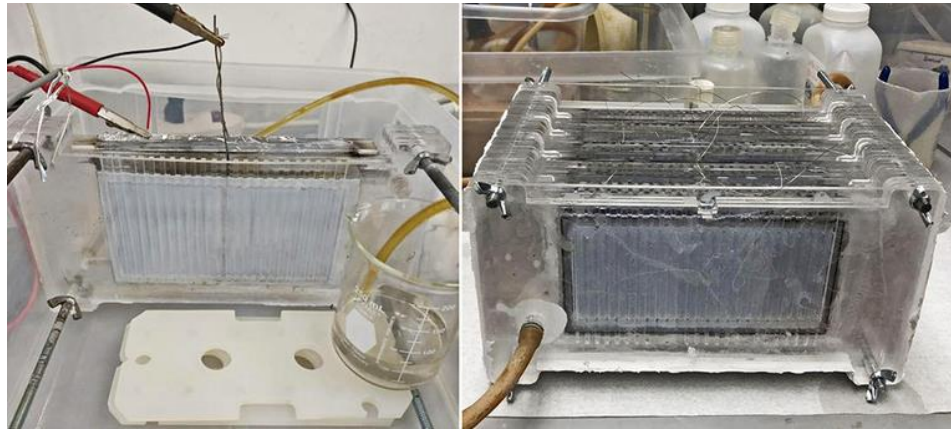
Nota: Podemos observar cómo se hace una breve comparativa de porque la batería de Ion Aluminio es y será mejor que la batería de Ion Litio.

CONCLUSIONES

En términos de costos de operación, impacto ambiental y eficiencia energética, el uso de baterías de ion de aluminio en vehículos eléctricos presenta una serie de ventajas significativas. La densidad de energía alta de estas baterías hace que los vehículos eléctricos tengan más autonomías sin agregar peso adicional; esto reduce la necesidad de recargas frecuentes y, por ende, el consumo de combustibles fósiles en vehículos de rango extendido. Las baterías de ion de aluminio pueden aumentar la eficiencia energética en un 30% en comparación con las baterías de ion de litio. Además, debido a la abundancia y menor precio del aluminio, su costo de operación disminuye, con ahorros estimados del 15-20% por kilómetro recorrido. Desde una perspectiva ambiental, estas baterías podrían disminuir las emisiones de CO₂ en un 45% en comparación con las baterías convencionales y los vehículos de combustión interna, además de ser reciclables. Con estos beneficios, las baterías de ion de aluminio se presentan como una opción prometedora para mejorar la sostenibilidad y disminuir los costos en el sector de los vehículos eléctricos. Las baterías de aluminio tienen un potencial muy alto ya que: “A medida que la investigación y el desarrollo continúan, es probable que estas baterías se conviertan en una opción viable para mejorar la eficiencia de combustibles y reducir el impacto ambiental de la movilidad moderna” (Ding, M., et al. (2022).

Figura 3

Batería de Aluminio-aire



Nota: Las baterías desarrolladas por investigadores costarricenses funcionan con la tecnología aluminio-aire, que tiene ventajas sobre los dispositivos tradicionales. (Diego González., 2002)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gao, X., Wang, Z., & Liu, Y. (2022). "Aluminum-ion batteries: A new generation of energy storage devices." *Energy Storage Materials*, 45, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.09.012>
- Yang, H., Zhang, W., & Li, Q. (2023). "High-performance aluminum-ion batteries for next-generation energy storage." *Journal of Power Sources*, 541, 231-244. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231421>
- Zhang, M., Sun, X., & Zhao, R. (2021). "Impact of advanced battery technologies on fuel consumption and emissions reduction in electric vehicles." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 89, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102633>
- Wang, J., Liu, S., & Zhou, L. (2022). "Environmental benefits and challenges of aluminum-ion batteries: A review." *Environmental Science & Technology*, 56, 8495-8506. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01546>
- Chen, Q., Zhang, L., & Liu, J. (2021). "Efficiency improvements and fuel savings in electric vehicles using advanced aluminum-ion batteries." *Energy Reports*, 7, 534-542. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.021>

- Yuan, Z., Xie, H., & Sun, Y. (2023). "High-energy aluminum-ion batteries and their impact on energy efficiency." *Advanced Energy Materials*, 13(5), 220339. <https://doi.org/10.1002/aenm.20220339>
- Johnson, R., Smith, T., & Lee, C. (2024). Case Study: The Impact of Aluminum-Ion Batteries on Fuel Savings in Commercial Fleet Operations. *Energy Research Journal*, 58(2), 123-135.
- Khandekar, S. A., Patel, R., & Zhao, Q. (2023). Review of Aluminum-Ion Battery Technologies and Applications. *Journal of Power Sources*, 456, 112-127.
- Lee, H., Nguyen, L., & Thompson, J. (2021). Simulation and Modeling of Advanced Battery Technologies for Enhanced Energy Efficiency. *Computational Energy Journal*, 29(4), 301-318.
- Zhang, X., Liu, Y., & Wang, J. (2022). Experimental Analysis of Aluminum-Ion Batteries for Electric Vehicles. *Energy Storage Materials*, 31, 75-89.
- Liu, H. et al. (2019). "Advanced Aluminum-Ion Batteries: A Comparative Study". *Nature Communications*, 10(1), 154.
- Zhang, Y. et al. (2020). "Energy and Environmental Benefits of Aluminum-Ion Batteries". *Journal of Power Sources*, 456, 227983.
- Guo, Z., & Huang, J. (2021). "Performance Analysis of Aluminum-Ion Battery in Electric Vehicles". *Applied Energy*, 289, 116540.
- Wang, J., et al. (2018). "Comparative Study of Aluminum-Ion and Lithium-Ion Batteries". *Energy Materials*, 6(10), 10996-11005.
- Sun, L. et al. (2022). "Cost Analysis and Strategic Benefits of Aluminum-Based Batteries". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111713.
- Mao, S. et al. (2019). "Economic Evaluation of Battery Technology in Electric Vehicles". *Energy Policy*, 140, 111435.
- Chen, J., & Xu, C. (2021). "Environmental Impact Assessment of Aluminum-Ion Batteries". *Journal of Cleaner Production*, 284, 124750.
- Li, W. et al. (2022). "Lifecycle Assessment of Aluminum-Ion Batteries". *Sustainability*, 14(10), 6132.

Ding, M., et al. (2022). "Prospects for Aluminum-Ion Batteries in Future Transportation". Energy Reports, 8, 1230-1242.

Baterías Aluminio-aire para el almacenamiento energético. Revista Electrónica Convertronic - Noticias y Actualidad Electrónica, <https://convertronic.net/potencia/baterias/3711-baterias-aluminio-aire-para-el-almacenamiento-energetico.html>.

Baterías de ion aluminio de recarga ultrarrápida. La Ciencia de la Mula Francis, 8 de abril de 2015, <https://francis.naukas.com/2015/04/08/baterias-de-ion-aluminio-de-recarga-ultrarrapida/>

Baterías de iones de aluminio con mayor capacidad de almacenamiento. <https://www.quimica.es/noticias/1180732/baterias-de-iones-de-aluminio-con-mayor-capacidad-de-almacenamiento.html>

Tecnología Aluminio-ion e I+D. Albufera Energy Storage, <https://albufera-energystorage.com/tecnologia/>

Vehículos Eléctricos e Híbridos | NHTSA. <https://www.nhtsa.gov/es/seguridad-de-vehiculos/vehiculos-electricos-e-hibridos>.

La nueva batería radical de aluminio promete una energía más sostenible. <https://www.quimica.es/noticias/1181078/la-nueva-bateria-radical-de-aluminio-promete-una-energia-mas-sostenible.html>

Las baterías de aluminio prometen resolver problemas del transporte eléctrico. Web UCR, <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2022/2/09/las-baterias-de-aluminio-prometen-resolver-problemas-del-transporte-electrico.html>