

COVER PAGE IN ENGLISH

(solo para artículos en español, portugués o francés)

Panama and Second-Life Batteries: A Case Study

Rafael Romero¹; Francisco Jaramillo²; Aramis Pérez³; Vanessa Quintero⁴

^{1,4}Faculty of Electrical Engineering, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

rafael.romero@utp.ac.pa, vanessa.quintero1@utp.ac.pa

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Physical and Mathematical Sciences, University of Chile, Chile

francisco.jaramillo@uchile.cl

³The School of Electrical Engineering, University of Costa Rica, Costa Rica

aramis.perez@ucr.ac.cr

Abstract— Panama is facing a scenario in which the energy transition is becoming a reality, and issues such as electric mobility and renewable energy are gaining prominence. Within this context, challenges arise, particularly regarding the management of batteries originating from these applications. Therefore, providing these batteries with a second life emerges as a viable solution. This article presents a comprehensive review of the existing regulatory framework in Panama and focuses on exploring priority applications for batteries derived from their first life cycle. Furthermore, a set of evaluation metrics is established, considering technical aspects such as regulation and level of technological development, as well as others relevant factors including climatic conditions and national relevance.

Keywords—Batteries, lithium-ion, second life, applications and regulation

Panamá y las Baterías de Segunda Vida: Un Caso de Estudio

Rafael Romero¹; Francisco Jaramillo²; Aramis Pérez³; Vanessa Quintero⁴

^{1,4}Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

rafael.romero@utp.ac.pa, vanessa.quintero1@utp.ac.pa

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ciencias y Físicas, Universidad de Chile, Chile

francisco.jaramillo@uchile.cl

³Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

aramis.perez@ucr.ac.cr

Resumen– Panamá se enfrenta a un escenario donde la transición energética es una realidad y temas como la movilidad eléctrica y las energías renovables toman protagonismo. Ante este escenario surgen problemáticas como el manejo de las baterías provenientes de estas aplicaciones. Por ello, darles una segunda vida a estas baterías, se presenta como una solución. Este artículo presenta una revisión exhaustiva de la reglamentación existente en Panamá y se enfoca en explorar las posibles aplicaciones prioritarias para el uso de baterías provenientes de una primera vida útil. Además, se establecen métricas que contemplan aspectos técnicos como la regulación y la madurez de las tecnologías usados y otros aspectos importantes como lo son las condiciones climáticas y la importancia para el país.

Palabras clave–Baterías, segunda vida, aplicaciones, reutilización, regulación.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años Panamá ha evidenciado su creciente interés en la transición energética, resaltando temas como la movilidad eléctrica y la adopción de energías renovables, tal como se destaca en el “Plan Energético Nacional 2015-2050” y en la “Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica” [1], [2]. En el primer documento se menciona que Panamá busca aumentar el uso de energías renovables con el fin de disminuir su dependencia en combustibles fósiles. A su vez el segundo documento destaca que Panamá incentiva la movilidad eléctrica con el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector de transporte, para ello establece metas que deben ser alcanzadas para el año 2030. Ante este escenario el país se enfrentará a grandes desafíos relacionados con la estabilidad de la red eléctrica, la integración de energías renovables y el reciclaje de baterías de los autos eléctricos.

En este contexto, la utilización de baterías de segunda vida surge como una solución interesante y viable. El concepto de baterías de segunda vida se refiere a baterías de vehículos eléctricos que dejan de ser útiles para estos, ya que han alcanzado el 80% de su capacidad, pero aún conservan energía que puede ser utilizada en otras aplicaciones [3]. La utilización de baterías de segunda vida puede contribuir a los objetivos de Panamá en temas de transición energética, pero la falta de estudios en esta materia limita su aprovechamiento.

En esta línea es relevante enfocarse en la identificación de parámetros técnicos relevantes, los cuales son esenciales para determinar la viabilidad de estas baterías, garantizar su rendimiento y así poder maximizar su potencial para las distintas aplicaciones que se les vaya a dar. Esta investigación se enfoca en explorar, a nivel nacional, las posibles aplicaciones prioritarias para el uso de baterías provenientes de una primera vida útil. La evaluación contempla aspectos técnicos la regulación existente en el país, la madurez de las tecnologías usados y otros aspectos importantes como lo son las condiciones climáticas y la importancia para el país.

II. MARCO TEÓRICO

El concepto de baterías de segunda vida se fundamenta en que las baterías retiradas de vehículos eléctricos aún mantienen capacidad suficiente para reutilizarse en aplicaciones menos exigentes. Diversos estudios indican que muchas baterías se retiran del uso automotriz cuando se encuentran alrededor del 70% o 80% de su capacidad nominal, lo que marca el fin de su vida para tracción, pero aún conservan capacidad suficiente para aplicaciones menos exigentes.[4], [5].

Diversos trabajos internacionales han estudiado la viabilidad técnica y el potencial de dar una segunda vida a estas baterías en aplicaciones estacionarias. Una de estas aplicaciones ha sido la de las estaciones de carga para vehículos eléctricos. En el artículo [6], [7] los autores proponen, mediante simulaciones, una estación de carga ultrarrápida basada en una topología de convertidor multinivel modular (MMC) que integra baterías de segunda vida como almacenamiento intermedio, con el objetivo de reducir tiempos de espera y aprovechar baterías retiradas. En el artículo [8] los autores siguen en la línea de estudiar la viabilidad de utilizar baterías de segunda vida provenientes de vehículos eléctricos en aplicaciones de almacenamiento estacionario, incluyendo estaciones de carga. La evaluación se realiza con un sistema conformado por 16 módulos de Tesla Model S P85 (dos grupos en serie de ocho módulos), con una capacidad nominal total de 84.8 kWh; el estudio incorpora pruebas de seguridad, capacidad, rendimiento e integración a la red para sustentar su aplicabilidad. Otra aplicación evaluada para el uso de baterías de segunda vida corresponde a la micromovilidad y, en general, a aplicaciones móviles. En el artículo [9] los autores

exploran la reutilización de baterías retiradas en Tailandia para aplicaciones menos exigentes como carritos de golf y motocicletas eléctricas, utilizando baterías HPB04-56A de un Nissan X-Trail híbrido; los resultados muestran mejoras en autonomía y en tiempos de recarga al sustituir baterías de plomo-ácido. Por otro lado, en el artículo [10] los autores se centran en el proyecto SEABAT, apoyado por la Unión Europea con el fin de desarrollar un sistema de almacenamiento de energía para vehículos navales propulsados eléctricamente utilizando baterías de segunda vida provenientes de vehículos eléctricos. Consiste en un sistema modular multinivel de baterías y convertidores que permite el control de las magnitudes eléctricas de salida del almacenamiento y monitorear su estado de salud (SOH).

También se han hecho estudios sobre el uso de baterías de segunda vida en sistemas de almacenamiento o respaldo. En el artículo [11] los autores plantean reutilizar baterías provenientes de vehículos eléctricos en sistemas de almacenamiento de energía (BESS), con el propósito de brindar soporte a la red eléctrica, destacando su potencial para ayudar a reducir los picos de demanda (peak shaving), mejorar la estabilidad de la red y reducir costos en infraestructuras eléctricas. En el artículo [12] los autores analizan la viabilidad de baterías de segunda vida provenientes de vehículos eléctricos para su uso en sistemas de almacenamiento de energía, con el fin de optimizar la eficiencia y confiabilidad de aplicaciones estacionarias. Para ello se comparan seis diferentes topologías de convertidores para la gestión de estas baterías en aspectos como el costo, la confiabilidad y la redundancia, donde la topología de cascada demostró ser la más confiable y rentable. En el artículo [13] los autores revisan el proceso técnico con el que se evalúa y reutiliza baterías de segunda vida provenientes de vehículos eléctricos para aplicaciones estacionarias, como sistemas de almacenamiento de energía (ESS), usando baterías de un Nissan Leaf (2012) para alimentar alumbrado público solar, destacando la pertinencia de aplicaciones con corrientes moderadas; adicionalmente se incorporan consideraciones económicas, comparando compra y reacondicionamiento frente a baterías nuevas.

Finalmente, se destaca el uso de este tipo de baterías en aplicaciones desde el punto de vista social, con el propósito de que estas baterías se conviertan en un habilitador para mejorar el acceso a la energía y a servicios básicos en contextos rurales y comunitarios. En el artículo [14] se estima que la capacidad disponible de baterías retiradas podría alimentar sistemas descentralizados, y se modelan escenarios logísticos y económicos, comparándolos con alternativas de plomo-ácido, concluyendo que la reutilización puede ser costo-efectiva y ambientalmente favorable. Un caso aplicado se presenta en [25], donde se implementa una mini-red autónoma en la isla Kibumba (Tanzania) con un sistema fotovoltaico y almacenamiento con baterías reutilizadas, incorporando BMS

y arquitectura maestra/esclavo para mejorar la seguridad y la confiabilidad bajo condiciones adversas. Posteriormente, en el artículo [15] se analiza el mismo sistema en funcionamiento y se reporta desempeño energético y aporte social, mostrando que el sistema cubre demandas clave (hospital y escuela), amplía progresivamente la electrificación y presenta ventajas económicas frente a la generación diésel, con un periodo de amortización relativamente corto y una vida útil proyectada mayor, además de beneficios indirectos, como reducción de emisiones y mejoras sanitarias. En el artículo [16] se evalúan los impactos socioeconómicos un año después de la implementación de la mini-red en Kibumba mediante encuestas comunitarias, identificando mejoras en salud y economía local, además de barreras asociadas al alto costo de la electricidad y la necesidad de mecanismos de apoyo (subsidios o esquemas de compensación). En la misma línea de servicios básicos, el artículo [17] amplía el enfoque al integrar el suministro de agua potable, mostrando que la mini-red con baterías reutilizadas puede alimentar una planta de tratamiento con reducción del costo del agua frente a alternativas locales de suministro y beneficios claros en salud pública y seguridad (reducción de exposición a fuentes inseguras), planteando el modelo como replicable en comunidades con bajo acceso a servicios. Desde una perspectiva de política y sostenibilidad, en el artículo [18] se analiza el potencial de combinar fotovoltaica distribuida con baterías de segunda vida en zonas rurales (China) usando proyecciones energéticas y análisis de ciclo de vida, indicando que puede contribuir a la mitigación climática y al logro de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y proponiendo transitar de subsidios a mecanismos de mercado (p. ej., tarifas dinámicas) para mejorar la viabilidad a largo plazo. En microrredes rurales, el artículo [19] compara escenarios con baterías nuevas versus reutilizadas mediante simulaciones, evidenciando reducciones relevantes en costos de capital, manteniendo una confiabilidad aceptable, lo cual refuerza la pertinencia de las baterías de segunda vida en contextos donde el costo de baterías nuevas limita la electrificación. A nivel residencial conectado a red, el artículo [20] presenta un caso experimental con baterías provenientes de un Nissan Leaf en un sistema fotovoltaico, destacando operación confiable con monitoreo (SOC/SOH) y degradación moderada, lo cual respalda la factibilidad técnica y socioeconómica de soluciones distribuidas en entornos comunitarios. En el ámbito educativo, el artículo [21] reporta una evaluación tecnoeconómica para escuelas rurales (Kenia) basada en levantamiento de necesidades y dimensionamiento, mostrando que las baterías de segunda vida pueden reducir el costo nivelado de electricidad frente a baterías nuevas y cubrir usos esenciales (iluminación, seguridad, informática y carga), aportando una ruta práctica para electrificación asequible. Finalmente, en el análisis de comunidades energéticas, el artículo [22] sugiere que el almacenamiento con baterías de segunda vida puede mejorar autoconsumo, reducir picos y aumentar independencia energética al disminuir CAPEX,

aunque señala desafíos de responsabilidad legal, garantías y protocolos de seguridad; y estudios de síntesis y casos agregados [23], [24] subrayan que la viabilidad económica mejora cuando las baterías se integran a esquemas de flexibilidad/servicios de red y marcos regulatorios adecuados. En conjunto, estos antecedentes muestran que el impacto social positivo es consistente, pero depende de condiciones técnicas y de implementación (evaluación y control), económicas (financiamiento, tarifas) y regulatorias (seguridad, responsabilidad y estandarización) que deben abordarse para una implementación sostenible. Estos antecedentes evidencian que, aunque existe una amplia base técnica internacional sobre la reutilización de baterías de segunda vida en diversas aplicaciones, la viabilidad de su implementación depende de parámetros técnicos específicos, condiciones regulatorias y contextos locales que deben ser analizados de manera particular para cada país.

III. METODOLOGÍA

La propuesta se desarrolla a nivel de país explorando las aplicaciones que pueden ser implementadas bajo el concepto de segunda vida de las baterías. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica cuyo objetivo fue identificar las aplicaciones de mayor demanda para el uso de baterías de segunda vida. Dicha actividad incluyó la búsqueda sistemática en bases de datos indexadas y repositorios técnicos. Además de documentación de instituciones públicas y entidades privadas. En base a los datos recolectados se analizaron las aplicaciones y se evaluaron en función del contexto de Panamá. Se utilizó como métrica de selección la normativa del país, la infraestructura existente, las condiciones climáticas en las que se han probado estas aplicaciones y su relevancia para el mercado local. Esto permitió priorizar aquellas aplicaciones que eran más factibles de implementar bajo las condiciones técnicas, regulatorias y operativas del país. En la Figura 1 se estructuran los pasos seguidos en la metodología.



Figura 1: Pasos de la Metodología

IV. CASO DE ESTUDIO: PANAMÁ

Para determinar la viabilidad de las aplicaciones de baterías de segunda vida (SLB) en Panamá, es fundamental comprender el contexto energético actual del país. En los últimos años en Panamá se ha dado un creciente interés en la transición energética, resaltando temas como la movilidad eléctrica y la adopción de energías renovables. Este análisis se fundamenta en diversos documentos que delinean la situación energética actual y los planes futuros del país.

a. Marco Legal en Panamá

La norma base que rige el sector eléctrico de Panamá es la “Ley 6 de 1997, “Por la cual se dicta el Marco Regulatorio e Institucional para la Prestación del Servicio Público de Electricidad” [25], en esta se establecen las bases para regular el sector eléctrico panameño. En ella se definen y diferencian las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, y se crea la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), sentando un precedente para la supervisión y reglamentación de toda actividad eléctrica del país. Todo desarrollo que se quiera impulsar o desarrollar en el sector energético, incluyendo la incorporación de energías renovables, sistemas de almacenamiento de energía y la infraestructura de movilidad eléctrica, debe enmarcarse en esta ley [25].

En el ámbito del sector energético nacional, destacan documentos como, “Panamá, El Futuro que Queremos” [26], elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), nos presenta una hoja de ruta para el desarrollo energético sostenible en Panamá a largo plazo. Este documento además de sentar las bases para elaborar una política energética sostenible a largo plazo nos plantea algunos problemas y desafíos del sistema energético panameño, como lo son: Potencial Energético Limitado, Crecimiento de la población y del consumo de energía, y Descarbonización de la matriz energética. Con tal de buscar una solución a estos problemas, Panamá crea el documento “Plan Energético Nacional 2015-2050” [1] bajo la resolución N°34 de 29 de marzo de 2016. Este documento es la hoja de ruta principal para la transición energética del país y establece cuatro ejes fundamentales: El acceso universal y la reducción de la pobreza energética, La descarbonización de la matriz energética, El uso eficiente de la energía y la sobriedad energética, y La seguridad energética. Bajo estos cuatro ejes, este documento [1], de carácter ambicioso, busca trazar una ruta clara para el país hacia un futuro energético más sostenible, seguro y accesible, teniendo como puntos principales la descarbonización y la eficiencia energética.

Para lo que es la movilidad eléctrica en Panamá, encontramos algunos documentos claves. El primero es la “Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica de Panamá” [2] se nos presenta el marco estratégico en el cual se sienta las bases para el desarrollo e impulso de la movilidad eléctrica en Panamá.

En este se busca acelerar la transición del transporte terrestre de combustión interna a eléctrico, así reduciendo las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, disminuyendo la dependencia de importación de combustibles fósiles, reduciendo los costos de mantenimiento a los usuarios de vehículos eléctricos, y fomentando la creación de nuevos negocios y empleos. La estrategia se presenta como una hoja de ruta fundamental para la transformación del sector transporte en Panamá, alineada con los compromisos de desarrollo sostenible del país y la agenda global de acción climática. Para cumplir con ello el país ha dado los primeros pasos para la implementación de la movilidad eléctrica creando la “Ley 295 (De 25 de abril de 2022) Que incentiva la movilidad eléctrica en el transporte terrestre” [27]. Esta Ley es el instrumento legal que implementa y proporciona incentivos específicos para la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, facilitando la transición del transporte terrestre a vehículos eléctricos mediante medidas e incentivos en los sectores público, privado y académico. En este documento [27], entre otras cosas, se establecen metas y porcentajes obligatorios para la adquisición de vehículos eléctricos y reemplazo en las flotas de las entidades públicas. También establece un marco regulatorio para la implantación de estaciones de carga tanto en edificios públicos como en propiedades privadas, y regula su operación y registro, estableciendo a la ASEP como la encargada de su reglamentación. Esta ley se complementa con el “Decreto Ejecutivo N.º 51 (De 15 de febrero de 2023) que reglamenta la Ley 295 de 25 de abril de 2022” [28], el cual proporciona marco regulatorio para la implementación de la Ley 295, proporcionando detalles y procedimientos necesarios para su aplicación, estableciendo mecanismos operativos y administrativos para los incentivos y las normativas para la movilidad eléctrica. Con respecto a las estaciones de carga, se establecen los lineamientos generales de estas, en los cuales se regulan varios aspectos como el tipo de cargadores, los requisitos técnicos, los procedimientos de registro y autorización para la operación de las estaciones de carga.

Panamá también ha desarrollado un marco legislativo y normativo que impulsa la construcción y desarrollo de las energías renovables. Primero tenemos la Ley 37 de 10 de junio de 2013, "Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares" [29], el cual establece un marco legal y un régimen de incentivos para impulsar el desarrollo de la energía solar en Panamá. En esta se contempla beneficios fiscales para equipos de construcción, mantenimiento e instalaciones solares, tanto para constructores, operadores y personas naturales o jurídicas, esta parte se complementa con la “Ley 38 de 9 de agosto de 2016, "Que modifica y adiciona disposiciones a la Ley 37 de 2013, Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares” [30] y la “Resolución N.º MIPRE-

2025-0002492, 23 de enero de 2025, "Por medio de la cual se aprueba el listado de los accesorios y equipos de conformidad con el numeral seis del artículo 20 de la Ley 37 de 10 de junio de 2013 Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares y sus modificaciones [31]. Adicional, tenemos los que son el “Código de Redes Eólico 2017: Normas técnicas, operativas y de calidad, para la conexión de la generación eléctrica eólica al Sistema Interconectado Nacional (SIN)” [32] y el “Código de Redes Fotovoltaico: normas técnicas, operativas y de calidad, para la conexión de los sistemas de centrales solares y centrales solares con tecnología fotovoltaica al Sistema Interconectado Nacional (SIN)” [33], que son dos códigos creados por la ASEP con el propósito de asegurar la estabilidad, confiabilidad y calidad del suministro eléctrico proveniente de fuentes eólicas y fotovoltaicas. En estos se establecen requisitos técnicos y operativos estrictos para la conexión de este tipo de plantas al Sistema Interconectado Nacional, los cuales incluyen requisitos y rangos de frecuencia y voltaje, comportamiento durante fallas y control de potencia reactiva. Por último, se incluye la “Resolución AN No. 5399-Elec del 27 de junio de 2012, emitida por la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP)” [34] y su “Anexo A” [35], con los que se reglamenta la conexión de Centrales Particulares de fuentes nuevas, renovables y limpias de hasta quinientos (500) kilowatts a las redes eléctricas de media y baja tensión de las empresas de distribución eléctrica. Esto permite que los clientes finales, incluyendo los hogares, puedan instalar y operar sus propias centrales de generación a partir de fuentes renovables, como los sistemas solares fotovoltaicos, para satisfacer su propio consumo eléctrico. Es importante destacar que el límite de 500 kW abarca ampliamente las potencias de los sistemas fotovoltaicos residenciales.

Panamá también cuenta con un marco regulatorio para los Sistemas de Almacenamiento con Baterías, reconociendo su importancia en la modernización del sistema eléctrico. Cabe destacar que este marco no contempla el almacenamiento como generación, pero sí en transmisión y para cargas críticas, lo que indica la necesidad y el potencial del país en desarrollar este tipo de aplicaciones. Primero encontramos el “Procedimiento para definir los mecanismos para incorporar los Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías en el Sistema Principal de Transmisión (SAEBt)” [36], en el que se establece los medios para integrar Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías a la red eléctrica nacional (sistema de transmisión). Con esto busca poder mejorar la operación del sistema, minimizar los riesgos ante la ocurrencia de contingencia, estabilizar la tensión, aliviar restricciones de transmisión, facilitar la integración de más energías renovables y optimizar el mercado eléctrico. También tenemos el “Procedimiento para la Incorporación de Sistemas de Almacenamiento con Baterías en Clientes Finales con Carga Crítica (SAEBcc)” [37], en el que se regula la

instalación y uso de Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías para clientes con cargas críticas, que son aquellos clientes que, por sus funciones, requieren un suministro continuo de electricidad, como los hospitales, servicios de emergencia, entre otros similar. Esto es con el objetivo principal de mejorar la confiabilidad del suministro para estos clientes.

Con la llegada de la movilidad eléctrica también llegó la necesidad de contar con una infraestructura robusta de carga, para ello, como vimos anteriormente, se establece a la ASEP como ente encargado para regular la operación de estas estaciones de carga. En consecuencia, se crea el “Procedimiento para Operar las Estaciones de Carga de Vehículos Eléctricos” [38], en el que se establecen las directrices y condiciones para la operación de las estaciones de carga de vehículos eléctricos en Panamá, tanto para los clientes finales que revenden electricidad como para las empresas distribuidoras. En este se regula la actividad comercial de recarga, su conexión a la red y la tarifa. Relacionado con los vehículos eléctricos pequeños o micromovilidad eléctrica tenemos el “Decreto Ejecutivo N.º206, de 30 de abril de 2021” [39], el cual reglamenta la movilidad no motorizada, esto incluye a la movilidad eléctrica. Aquí se define y regula los vehículos de movilidad personal, lo cuales son vehículos eléctricos de una plaza. Permite la circulación de vehículos de hasta 50 kg y 30 km/h por senderos designados o áreas peatonales, pero se les prohíbe su uso en la vía pública. Por otro lado, aquellos vehículos de hasta 3 pasajeros, 300 kg y 45 km/h, si se les permite transitar por la vía pública.

b. Situación Actual

El impulso de las políticas mencionadas anteriormente ha configurado una hoja de ruta para la descarbonización de la economía, e influenciado y modernizado la infraestructura energética del país. En la “Rendición de Cuentas 2019-2024” [40], presentado por la Secretaría Nacional de Energía, nos indica que la capacidad solar instalada ha crecido un 230%, con una inversión de 237 millones de USD en parques solares, en los últimos tres años. Esto se debe a que se ha estado impulsando este tipo de fuentes de energía, para poder satisfacer la creciente demanda de manera sostenible. También nos indica que se busca que ciudadanos y empresas generen su propia energía y entreguen los excedentes a la red mediante iniciativas como la “Generación Distribuida comunitaria o remota”, la cual permite nuevos modelos de negocio y la figura del prosumidor. Esto se ha potenciado con la introducción de incentivos fiscales robustos, incluyendo la exoneración total del Impuesto de Transferencia de Bienes Muebles y Servicios (ITBMS) y de los aranceles de importación para equipos de energía solar [41]. También se ofrece un crédito fiscal sobre el impuesto sobre la renta para nuevas construcciones que integren esta tecnología.

En los últimos años, la flota de vehículos eléctricos en Panamá ha crecido de manera considerable. La Secretaría Nacional de Energía, a través de la página “Movilidad Eléctrica en Panamá” [42], actualizada el 4 de diciembre de 2025, presenta las estadísticas más recientes sobre vehículos eléctricos. De estas estadísticas podemos obtener lo siguiente:

- *La cantidad de vehículos eléctricos vendidos en Panamá ha crecido considerablemente cada año, en especial, a partir del 2022. Las ventas de EV pasaron de apenas 82 unidades en 2021 a 653 unidades en 2024. En 2025, se han vendido 836 EV al cierre de noviembre.*

- *Este incremento en la venta de EV también ha hecho que la cantidad de EV circulando por año también incrementa. Se ha pasado de 135 EV circulando en 2021 a 2224 EV circulando a la fecha de 2025.*

Con respecto al consumo residencial en Panamá, en el “Informe Anual de Demanda Eléctrica – Año 2024” [43] las empresas distribuidoras de Panamá (EDEMET, EDECHI y ENSA) para el 2024 daban servicio de electricidad a 1,340,210 clientes, de los cuales 1,205,983 son residenciales. A estos clientes residenciales las empresas distribuidoras le vendieron 3682.20 GWh. Esto representa un consumo promedio por residencia de 3053.28 kWh al año. Este dato se obtuvo al relacionar el consumo total entre los clientes residenciales de las distintas distribuidoras y la cantidad total de clientes que tenían en ese momento dichas distribuidoras. Estos datos no diferenciaban entre residencias de ciudad o de campo o área rural, y no se encontraron datos estadísticos claros que indiquen el consumo energético en una residencia rural o de área de difícil acceso. A pesar de esto, encontramos documentos que nos pueden dar una idea de cuánto es el consumo energético en este tipo de residencias.

Primero tenemos “Metodología para el cálculo del subsidio para proyectos de electrificación rural” [44] establecido mediante la ley 58 de 30 de mayo de 2011. Es un documento creado por la ASEP con el fin de definir una fórmula y procedimiento oficial para calcular el subsidio que otorga el Estado a los concesionarios eléctricos para poder desarrollar Proyectos de Electrificación Rural (PER) en áreas apartadas, no rentables o de difícil acceso. Este no especifica cuánto es el promedio el consumo en estas áreas, pero si establece para los cálculos un “consumo unitario base” es decir el consumo por vivienda en estos proyectos, de 60 kWh al mes. Este valor fue determinado por la Oficina de Electrificación Rural (OER) para los proyectos PER.

C. Aplicaciones de Segunda Vida

Una aplicación estacionaria se define como cualquier aplicación de un sistema que está diseñado para ser conectado a un sitio fijo, ya sea un terreno, un edificio u otra estructura inmóvil para uso prolongado en ese sitio, e incluye sistemas de energía eléctrica estacionarios que pueden ser transportables para el suministro temporal de energía en el sitio [45]. La Tabla 1 presenta un resumen de las principales aplicaciones que según la literatura pueden emplearse las baterías de segunda vida.

Tabla 1: Aplicaciones de Segunda Vida

Aplicaciones de segunda vida	Referencia
Sistemas de almacenamiento o de respaldo	[3], [4], [5], [55], [56], [6], [57], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [66]
Estaciones de carga de vehículos eléctricos	[3], [4], [5], [6], [55], [59], [63], [64], [66]
Reducir interrupciones en la red	[56]
Vehículos eléctricos pequeños o recreativos	[3], [57], [59], [63], [64], [66]
Otros vehículos (camiones híbridos, navegación de transbordadores, aplicaciones marinas, botes)	[57], [63]
Sistemas de regulación	[59], [61], [64], [65], [66]
Reducir los picos de demanda de energía en una red eléctrica	[67], [66]
Electrónicos	[63]

De las diversas aplicaciones de baterías de segunda vida mencionadas anteriormente, se pueden destacar tres categorías principales: estaciones de carga para vehículos eléctricos, sistemas de almacenamiento de energía (o sistemas de respaldo) y aplicaciones móviles (como los vehículos eléctricos pequeños). Para estas aplicaciones se revisaron distintas fuentes bibliográficas que abordan cómo se pueden utilizar este tipo de baterías. Estas fuentes bibliográficas ya fueron mencionadas en la sección de Marco Teórico de este documento. Adicional, se eligieron cuatro métricas de evaluación: clima, regulación, relevancia o necesidad en el país, y madurez o implementación en el país, ver Figura 2. Estas métricas fueron seleccionadas de acuerdo el contexto nacional. Cada métrica se evalúa considerando tres niveles de cumplimiento en alto, medio, bajo.

- **Alto:** indica que existe la información necesaria para evidenciar el cumplimiento de la métrica.
- **Medio:** refleja la presencia de información y/o evidencia, pero deja interrogantes sobre ciertos aspectos.
- **Bajo:** la presencia de evidencia es casi nula o con características totalmente diferente a nuestro objeto de estudio.

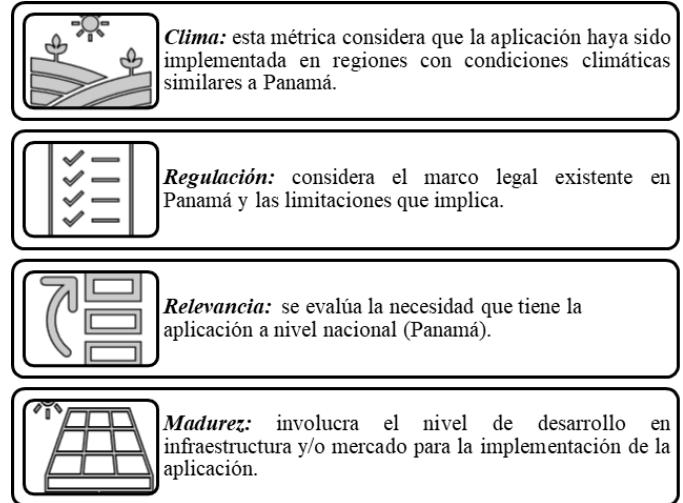


Figura 2: Métricas de Evaluación

En base a la revisión bibliográfica y a la regulación existente en nuestro país el estudio se ha enfocado en evaluar las condiciones de tres aplicaciones estacionarias: sistemas de almacenamiento, estaciones de carga y micromovilidad. En la Tabla 2 se observa claramente que los sistemas de almacenamiento tienen un gran potencial para utilizar baterías de segunda vida, al igual que las estaciones de carga. Para la micromovilidad vemos una limitación en el aspecto de regulación, ya que a nivel país se debe trabajar y concretar aspectos cruciales para un mayor auge de dicha aplicación. De igual forma también presenta una oportunidad para trabajar de la mano con las autoridades para garantizar el reciclaje correcto de las baterías provenientes de este rubro y las consideraciones necesarias para su reúso.

Tabla 2: Métricas de Evaluación

Aplicaciones	Métricas			
	Clima	Regulación	Relevancia	Madurez
Sistema de Almacenamiento	Alto	Alto	Alto	Medio
Estaciones de Carga	Medio	Medio	Alto	Medio
Micromovilidad	Alto	Bajo	Medio	Bajo

CONCLUSIONES

El presente trabajo permite evaluar la situación actual de Panamá en relación con el nivel de conocimiento sobre la temática de baterías de segunda vida, así como el estado de la normativa vigente en el país. De igual forma, se identifican y analizan las principales fuentes de generación de estas baterías (aplicaciones primarias), junto con sus potenciales aplicaciones (aplicaciones secundarias), estableciendo un conjunto de métricas adaptadas a las condiciones técnicas, regulatorias y de contexto nacional. Los resultados obtenidos constituyen una guía para la selección de aplicaciones y la evaluación de las baterías en función de su estado y su futuro uso. De esta manera, el estudio constituye una herramienta para enfrentar desafíos relacionadas a dicha temática.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) mediante el proyecto IDDS2024-050 a través de la convocatoria Pública de Fomento a I+D para el Desarrollo Sostenible (IDDS) 2024 y con el respaldo de la Universidad Tecnológica de Panamá y el Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología (CEMCIT-AIP). Se extiende el agradecimiento a los miembros del Grupo de Investigación en Sostenibilidad Energética y Telecomunicaciones (GI-SENT) y de igual forma la Dra. Quintero agradece al Sistema Nacional de Investigación (SNI).

REFERENCIAS

- [1] Secretaría Nacional de Energía de Panamá, "Plan Energético Nacional 2015-2050." Accessed: Dec. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.energia.gob.pa>.
- [2] M. Rebolledo, "Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica de Panamá, ONU Ambiente, Panamá, 2019."
- [3] Hossain, E., Murtaugh, D., Mody, J., Faruque, H. M. R., Sunny, M. S. H., & Mohammad, N. (2019). A comprehensive review on second-life batteries: Current state, manufacturing considerations, applications, impacts, barriers & potential solutions, business strategies, and policies. *Ieee Access*, 7, 73215-73252.
- [4] Gladwin, D. T., Gould, C. R., Stone, D. A., & Foster, M. P. (2013, November). Viability of "second-life" use of electric and hybridelectric vehicle battery packs. In *IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 1922-1927). IEEE.
- [5] Tong, S. J., Same, A., Kootstra, M. A., & Park, J. W. (2013). Off-grid photovoltaic vehicle charge using second life lithium batteries: An experimental and numerical investigation. *Applied energy*, 104, 740-750.
- [6] Sun, S. I., Chipperfield, A. J., Kiaee, M., & Wills, R. G. (2018). Effects of market dynamics on the time-evolving price of second-life electric vehicle batteries. *Journal of Energy Storage*, 19, 41-51.
- [7] Reschiglian, T., Sevdari, K., & Marinelli, M. (2024, October). Repurposing second life EV battery for stationary energy storage applications. In *2024 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE)* (pp. 1-5). IEEE.
- [8] Aguilar Lopez, F., Lauinger, D., Vuille, F., & Müller, D. B. (2024). On the potential of vehicle-to-grid and second-life batteries to provide energy and material security. *Nature communications*, 15(1), 4179.
- [9] Barresi, M., Ferri, E., & Piegari, L. (2023, June). A fast-charging station for electric vehicles with 400-v/800-v charging ports and second-life batteries. In *2023 IEEE 17th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)* (pp. 1-8). IEEE.
- [10] Mandrile, F., Pastorelli, M., Musumeci, S., Urkiri, I. A., & Ramirez, A. (2023). Second life management from battery storage system of electric waterborne transport applications: Perspectives and solutions. *IEEE Access*, 11, 35122-35139.
- [11] Lacey, G., Putrus, G., & Salim, A. (2013, July). The use of second life electric vehicle batteries for grid support. In *Eurocon 2013* (pp. 1255-1261). IEEE.
- [12] Mukherjee, N., & Strickland, D. (2014, April). Second life battery energy storage systems: Converter topology and redundancy selection. In *7th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014)* (pp. 1-6). IET.
- [13] Haram, M. H. S. M., Sarker, M. T., Ramasamy, G., & Ngu, E. E. (2023). Second life EV batteries: Technical evaluation, design framework, and case analysis. *Ieee Access*, 11, 138799-138812.
- [14] Ambrose, H., Gershenson, D., Gershenson, A., & Kammen, D. (2014). Driving rural energy access: a second-life application for electric-vehicle batteries. *Environmental Research Letters*, 9(9), 094004.
- [15] Nedjalkov, A., Meyer, J., Göken, H., Reimer, M. V., & Schade, W. (2019). Blueprint and implementation of rural stand-alone power grids with second-life lithium-ion vehicle traction battery systems for resilient energy supply of tropical or remote regions. *Materials*, 12(16), 2642.
- [16] Falk, J., Nedjalkov, A., Angelmahr, M., & Schade, W. (2020). Applying lithium-ion second life batteries for off-grid solar powered system—A socio-economic case study for rural development. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 44(1), 47-60.
- [17] Falk, J., Angelmahr, M., Schade, W., & Schenk-Mathes, H. (2021). Socio-economic impacts and challenges associated with the electrification of a remote area in rural Tanzania through a mini-grid system. *Energy, Ecology and Environment*, 6(6), 513-530.
- [18] Falk, J., Globisch, B., Angelmahr, M., Schade, W., & Schenk-Mathes, H. (2022). Drinking water supply in rural africa based on a mini-grid energy system—A socio-economic case study for rural development. *Sustainability*, 14(15), 9458.
- [19] Zhu, L., Yao, X., Su, B., Ang, B. W., Hao, H., Zhou, P., & Wang, S. (2024). Reusing vehicle batteries can power rural China while contributing to multiple SDGs. *Cell Reports Sustainability*, 1(4).
- [20] Marasciulo, F., Dicorato, M., Tricarico, G., Forte, G., & Sbrizzai, R. (2024, November). Second life EV batteries use in microgrid application. In *2024 IEEE International Humanitarian Technologies Conference (IHTC)* (pp. 1-6). IEEE.
- [21] Sarker, M. T., Haram, M. H. S. M., Shern, S. J., Ramasamy, G., & Al Farid, F. (2024). Second-life electric vehicle batteries for home photovoltaic systems: transforming energy storage and sustainability. *Energies*, 17(10), 2345.
- [22] Kebir, N., Leonard, A., Downey, M., Jones, B., Rabie, K., Bhagavathy, S. M., & Hirmer, S. A. (2023). Second-life battery systems for affordable energy access in Kenyan primary schools. *Scientific reports*, 13(1), 1374.

- [23] Colarullo, L., & Thakur, J. (2022). Second-life EV batteries for stationary storage applications in Local Energy Communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112913.
- [24] Haram, M. H. S. M., Lee, J. W., Ramasamy, G., Ngu, E. E., Thiagarajah, S. P., & Lee, Y. H. (2021). Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4517-4536.
- [25] “Asamblea Nacional de la República de Panamá, ‘Ley 6 de 1997. Por la cual se dicta el Marco Regulatorio e Institucional para la Prestación del Servicio Público de Electricidad,’ Gaceta Oficial 23220, pp. 1-80, Feb. 5, 1997.”
- [26] “Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Panamá, El Futuro que Queremos: Plan Energético Nacional 2015-2050. Panamá, Panamá, [Fecha de Publicación no especificada en el documento, se puede inferir 2015-2016]. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/es/latin-america/publicaciones/panama-el-futuro-que-queremos-plan-energetico-panama-2015-2050>.”
- [27] “Asamblea Nacional de Panamá, Ley 295 de 25 de abril de 2022, que incentiva la movilidad eléctrica en el transporte terrestre. Gaceta Oficial Digital No. 29523-A, 25 de abril de 2022.”
- [28] “República de Panamá, Ministerio de la Presidencia, Decreto Ejecutivo No. 51 de 15 de febrero de 2023, que reglamenta la Ley 295 de 2022. Gaceta Oficial Digital No. 29723-B, 15 de febrero de 2023.”
- [29] “Ley 37, 10 de junio de 2013, ‘Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares.’ Gaceta Oficial Digital, no. 27308, 13 de junio de 2013.”
- [30] “Ley 38, 9 de agosto de 2016, ‘Que modifica y adiciona disposiciones a la Ley 37 de 2013, Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares.’ Gaceta Oficial Digital, no. 28093-A, 10 de agosto de 2016.”
- [31] “Resolución N.º MIPRE-2025-0002492, 23 de enero de 2025, ‘Por medio de la cual se aprueba el listado de los accesorios y equipos de conformidad con el numeral seis del artículo 20 de la Ley 37 de 10 de junio de 2013 Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares y sus modificaciones.’ Gaceta Oficial Digital, no. 30203, 23 de enero de 2025.” [Online]. Available: www.gacetaoficial.gob.pa/validar-gaceta
- [32] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), Panamá, Código de Redes 2017 (Texto Unificado): Normas Técnicas, Operativas y de Calidad, Para la Conexión de la Generación Eléctrica Eólica al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Diciembre 2017.”
- [33] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), Panamá, Código de Redes Fotovoltaico (Texto Unificado): Normas Técnicas, Operativas y de Calidad, Para la Conexión de los Sistemas de Centrales Solares y Centrales Solares con Tecnología Fotovoltaica al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Diciembre 2017.”
- [34] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, ‘Resolución AN No. 5399-Elec: Por la cual se aprueba el Procedimiento para la Conexión de Centrales Particulares de fuentes nuevas, renovables y limpias de hasta quinientos (500) kilowatts a las redes eléctricas de media y baja tensión de las empresas de distribución eléctrica’, 27 de junio de 2012.”
- [35] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, ‘Anexo A de la Resolución AN No. 5399-Elec: Comentarios recibidos en la Consulta Pública No. 015-15 para la propuesta de modificación al Procedimiento para la Conexión de Centrales de Generación que utilizan Fuentes Nuevas, Renovables y Limpias en las Instalaciones de los Clientes Finales de las Empresas de Distribución Eléctrica’, 27 de junio de 2012.”
- [36] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), Panamá, ‘Resolución AN No. 19248-Elec,’ 2024.”
- [37] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), Panamá, ‘Procedimiento para la Incorporación de Sistemas de Almacenamiento con Baterías en Clientes Finales con Carga Crítica,’ 2024.”
- [38] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), Panamá, ‘Procedimiento para Operar las Estaciones de Carga de Vehículos Eléctricos,’ Aprobado mediante la Resolución AN No. 18465-ELEC del 9 de junio de 2023, y modificado posteriormente por la Resolución AN No. 19977-ELEC del 26 de febrero de 2025.”
- [39] “República de Panamá, Ministerio de Gobierno, Decreto Ejecutivo N.º 206 de 30 de abril de 2021, Que reglamenta las diferentes formas de movilidad no motorizada contempladas en la Ley 74 de 2017, y se dictan otras disposiciones, Gaceta Oficial Digital, no. 29275-A, abr. 30, 2021. [Online]. Disponible en: [decreto ejecutivo 206 de 30 de abril de 2021.pdf].”
- [40] “Secretaría Nacional de Energía, ‘Rendición de Cuentas 2019-2024,’ Panamá, Ciudad de Panamá, 2024.”
- [41] “Incentivos fiscales para la energía solar en Panamá | TIBA.” Accessed: Jan. 02, 2026. [Online]. Available: <https://www.tibagroup.com/es/especializacion/energia-solar/incentivos-solar-panama>
- [42] “Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), *Informe Anual de Demanda Eléctrica – Año 2024*, Panamá, 2024. [En línea]. Disponible en: [demanda \(1\).pdf](#). [Último acceso: 10-jul-2025].”
- [43] E. LA Mediante Ley and D. DE Mayo, “Metodología para el cálculo del subsidio para proyectos de electrificación rural.”
- [44] Abdel-Monem, M., Hegazy, O., Omar, N., Trad, K., Van den Bossche, P., & Van Mierlo, J. (2017, September). Lithium-ion batteries: Comprehensive technical analysis of second-life batteries for smart grid applications. In *2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe)* (pp. P-1). IEEE.
- [45] “Stationary Application Definition | Law Insider.” Accessed: Jan. 03, 2026. [Online]. Available: https://www.lawinsider.com/dictionary/stationary-application?cursor=&utm_source=chatgpt.com