

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**Evaluación y gestión sostenible de baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos de San Cristóbal, Galápagos.**

**Shuber Antony Mora Zavala**

**Gestión Ambiental**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Licenciatura en Gestión Ambiental

San Cristóbal, 29 de mayo de 2024

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Evaluación y gestión sostenible de baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos de San Cristóbal, Galápagos.**

**Shuber Antony Mora Zavala**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Ing. Victor Herrera, PhD.**

San Cristóbal, 29 de mayo de 2024

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Shuber Antony Mora Zavala

Código: 00321028

Cédula de identidad: 1727183913

Lugar y fecha: San Cristóbal, 29 de mayo de 2024

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

La investigación se centró en emplear métodos de evaluación social, económica y ambiental para diseñar un marco de gestión que asegure una rentabilidad y el beneficio social derivado de la reutilización de las baterías en sistemas solares fotovoltaico. Para llevar a cabo la investigación, se recurrió al método estructurado con enfoque cuantitativo, revisión de la literatura y uso de la técnica de revisión de registros existentes. Los resultados revelaron que en un primer escenario un total de 2.400 baterías que se quedan en la isla se destinan a la venta y los gastos totales por batería se calculan en \$562.50, que incluyen tanto el costo de almacenamiento como el de mantenimiento. Sin embargo, en un segundo escenario, el precio de venta del 70% de las baterías (5.600) se fija en \$14.000 por tonelada, mismos que son enviados al continente. Estos resultados permitieron concluir que, entre estos dos escenarios revela que el segundo escenario resulta en una rentabilidad significativamente mayor, sobre el valor generado en el primer escenario. Además, demuestran el potencial económico de reutilizar baterías en lugar de desecharlas, lo que no solo reduce residuos, sino que también puede generar ingresos adicionales para las empresas involucradas en el proceso. Esto subraya la importancia de considerar cuidadosamente las opciones disponibles y buscar oportunidades para mejorar la rentabilidad y la eficiencia en la gestión de recursos energéticos renovables como las baterías de segunda vida.

**Palabras clave:** Baterías, Sistemas solares fotovoltaicos, gestión sostenible, reciclaje.

## ABSTRACT

The research focused on employing social, economic, and environmental evaluation methods to design a management framework that ensures profitability and social benefit derived from the reuse of batteries in photovoltaic solar systems. To carry out the research, the structured method with a quantitative approach, literature review, and the use of the existing records review technique were employed. The results revealed that in a first scenario, a total of 2.400 batteries that remain on the island are destined for sale, and the total expenses per battery are calculated at \$562.50, which includes both storage and maintenance costs. However, in a second scenario, the selling price of 70% of the batteries (5.600) is set at \$14.000 per ton, which are sent to the mainland. These results allowed for the conclusion that, between these two scenarios, the second scenario results in significantly higher profitability compared to the value generated in the first scenario. Furthermore, they demonstrate the economic potential of reusing batteries instead of discarding them, which not only reduces waste but can also generate additional income for the companies involved in the process. This underscores the importance of carefully considering the available options and seeking opportunities to improve profitability and efficiency in the management of renewable energy resources such as second-life batteries.

## Tabla de contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>13</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>14</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>16</b>
<b>Discución.....</b>	<b>22</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>27</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>29</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>30</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 BESS que se prevé instalar en la Isla San Cristóbal. La tabla muestra el Sistema de almacenamiento de energía de batería que se pretende instalar cada cinco años en la Isla. Tomado de Bustos et al. (2024). .....	15
Tabla 2. Porcentajes totales de baterías disponibles. La tabla muestra los costos que se han generado para el proceso de recolección y venta de baterías. ....	19



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La figura representa el costo referencial de la batería. ....	17
---	----

**INDICE DE ABREVIATURAS**

**kWh:** kilovatio hora

**mWh:** milivatio hora

**ELECGALÁPAGOS:** Empresa Eléctrica Provincial de Galápagos S.A

**BESS:** Battery Energy Storage System

## Introducción

La isla San Cristóbal pertenece a la región insular de Galápagos, Ecuador. De forma general, las Islas Galápagos cuentan con ecosistemas únicos y altamente sensibles, reconocidos por su biodiversidad excepcional y su estatus como Patrimonio de la Humanidad (Synch, 2022). Debido a la fragilidad de este ecosistema, la implementación de sistemas de energía renovable, como la energía solar fotovoltaica, se ha vuelto crucial para las Galápagos. Al analizar varios factores clave, como la disponibilidad de radiación solar y la necesidad de proteger el delicado entorno natural, las autoridades han podido desarrollar soluciones de energía limpia y sostenible que permiten satisfacer las necesidades energéticas de los habitantes sin comprometer la integridad del archipiélago.

La adopción de fuentes de energía renovable, como la solar fotovoltaica, responde a la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el impacto ambiental en un entorno natural tan precioso como Galápagos. Pero, lastimosamente existen desafíos significativos en términos de acceso a la energía. Dado su aislamiento geográfico y la limitada infraestructura de energía convencional, la generación de energía local y sostenible se vuelve crucial para garantizar un suministro confiable y estable de electricidad (Mera et al, 2021).

Por ende, los sistemas fotovoltaicos ofrecen una solución viable y escalable para abordar estas necesidades energéticas ya sea en las instalaciones domésticas comerciales o estaciones locales de carga de vehículos eléctricos, aprovechando la abundante radiación solar en la región (Mesa et al, 2023). La transición hacia la energía renovable contribuye a reducir la huella ambiental, así como la dependencia de combustibles fósiles mitigando el impacto ambiental en un ecosistema frágil y único (Espejo & Aparicio, 2020). Sin embargo,

la gestión adecuada de las baterías utilizadas en estos sistemas solares plantea desafíos significativos.

El problema radica en la falta de una estrategia integral o plan para el manejo de las baterías de segunda vida en los sistemas solares fotovoltaicos de San Cristóbal. Considerando que dichas baterías son vitales para el almacenamiento y uso eficiente de la energía generada, pero a su vez tienen un ciclo de vida limitado.

La ausencia de un enfoque estructurado para su reutilización, reciclaje o disposición final genera impactos negativos también para el entorno natural de las Islas Galápagos como para la comunidad local. Claro, aquí tienes una versión que evita la redundancia:

Al llegar al final de su ciclo de vida útil en los sistemas solares fotovoltaicos, las baterías plantean la interrogante sobre cómo gestionarlas de manera sostenible. Además, la carencia de una metodología definida para su acopio, transporte y posibilidades de reciclaje agrava este problema, aumentando la probabilidad de contaminación y desperdicio de recursos valiosos.

Esta investigación se centra en emplear métodos de evaluación social, económica y ambiental para diseñar un marco de gestión que asegure una rentabilidad y el beneficio social derivado de la reutilización de las baterías en sistemas solares fotovoltaicos.

## **Justificación**

El estudio es importante en el contexto actual debido a que aborda la necesidad crítica de optimizar la utilización de recursos en un entorno insular con limitaciones logísticas y ambientales significativas. Al proponer una metodología para la reutilización, transporte y reciclaje de baterías al final de su vida útil, se espera contribuir a mitigar el impacto ambiental negativo de la disposición inadecuada de estos componentes.

Además, esta metodología busca promover la sostenibilidad económica y social al explorar la viabilidad de la reutilización de dicho componente, generando beneficios tanto para la comunidad local como para el medio ambiente. Se pretende promover un plan donde, con ayuda de la empresa eléctrica de la isla, pueda darse mantenimiento, transportar y vender las baterías de segunda vida hacia el continente. También, la investigación propuesta proporciona una comprensión más profunda de cómo maximizar el valor de las baterías de segunda vida, ofreciendo nuevas perspectivas sobre prácticas de gestión más eficientes y rentables.

## **Objetivos**

- Evaluar las aplicaciones de segunda vida para los módulos de baterías de las plantas solares en aplicaciones de menor demanda como las instalaciones domésticas y comerciales.
- Definir una metodología para el acopio, traslado a continente y posibilidades de reciclaje de los módulos que alcancen su fin de vida útil.

## Metodología

El área de estudio para el desarrollo del trabajo abarcó la isla San Cristóbal, una de las principales islas del archipiélago de Galápagos y un destino turístico de renombre mundial.

Es así que, para llevar a cabo la investigación, se recurrió al método estructurado, donde se realizó una exhaustiva revisión de la literatura existente para comprender el tiempo de vida útil de las baterías en sistemas solares fotovoltaicos, al igual que el consumo en kilovatio hora (kWh). Posteriormente, se revisó registros existentes que muestran el Sistema de almacenamiento de energía de batería que se pretende instalar cada cinco años en la Isla. (Tabla:1) Bustos et al. (2024). A partir de esta información, se procedió a recopilar datos pertinentes sobre el rendimiento de las baterías, la demanda energética local y las prácticas de gestión de baterías en la isla.

Para el análisis de los resultados, se empleó un enfoque integral que abarcó tanto aspectos técnicos como sociales y ambientales. En primer lugar, se realizó un análisis del 30% de baterías de medio uso para obtener el rendimiento detallado técnico de los sistemas solares fotovoltaicos con las baterías de segunda vida integradas, evaluando indicadores como la eficiencia energética, la estabilidad del suministro eléctrico y la durabilidad de los componentes que será dada a pequeños comerciantes y viviendas de la localidad.

Por otro lado, el segundo escenario consistió en analizar el 70% restante de las baterías de medio uso para trasladar al continente acompañado de un mantenimiento a fin de vender.

Además, se llevó a cabo un seguimiento continuo de los costos operativos y de mantenimiento de las baterías, conociendo lo que se ha generado a través de la venta de baterías reacondicionadas. La combinación de los dos análisis permitió obtener una

comprensión holística de los resultados del proyecto y su contribución a la sostenibilidad energética, social y ambiental de San Cristóbal y las Islas Galápagos en su conjunto.

Una vez recopilados los datos, se trabajó en un plan de negocio que permitió obtener perspectivas directas sobre los desafíos y oportunidades en la gestión de baterías de segunda vida. Con base en los datos de la investigación, se desarrolló también una metodología integral para la evaluación y gestión sostenible de las baterías, integrando criterios técnicos, económicos y ambientales.

Profundizando en la elaboración de un plan de negocio, se comenzó con la redacción de un resumen ejecutivo que brinde una visión general de la empresa y el mercado. Este resumen ejecutivo se redactó después de haber desarrollado los demás elementos del plan, de manera que se puedan extraer los puntos clave con mayor facilidad. En este resumen, se destacó aspectos como la descripción la batería, el análisis del mercado y las consideraciones financieras, incluyendo el valor de venta del kWh de la batería a reutilizar y el valor de transporte a continente.

*Tabla 1 BESS que se prevé instalar en la Isla San Cristóbal. La tabla muestra el Sistema de almacenamiento de energía de batería que se pretende instalar cada cinco años en la Isla. Tomado de Bustos et al. (2024).*

<b>Isla</b>	<b>2025 (MWh)</b>	<b>2025 (kWh)</b>
<b>San Cristóbal</b>	8	8.000

*Nota.*

## Resultados

Para el desarrollo del trabajo, se ha recurrido en una iniciativa innovadora y sostenible que busca reutilizar las baterías provenientes de plantas solares fotovoltaicas al final de su vida útil. En este contexto, la reutilización de las baterías no solo representa una oportunidad para maximizar su vida útil y reducir residuos, sino que también ofrece un potencial significativo para generar valor económico y ambiental. Por tanto, el Plan de Negocios aborda cómo esta estrategia puede implementarse de manera efectiva, considerando aspectos técnicos, financieros y de sostenibilidad, brindando beneficios a los habitantes como al medio ambiente.

Se conoce que de acuerdo al estudio de Bustos et al. (2024), la Isla San Cristóbal para el 2025 prevé instalar 8 MWh en la isla, para efecto del análisis se transforma a kWh dando un total de 8.000, los cuales se exponen a continuación.

### Escenario 1:

En el primero escenario se analiza el 30% de las baterías para paneles fotovoltaicos, considerando que ya han sido utilizados y se pretende reciclar dando una segunda vida en la isla San Cristóbal. Lo que significa que hay 2.400 kWh para volver hacer uso. A continuación, la ecuación (1).

#### Escenario 1 – 30%

#### **Ecuación 1**

$$8.000kWh * 30\% \text{ escenario 1} = 2.400 kWh$$

Es importante señalar que según el portal de ventas Helios Strategia Ecuador (2024) una batería nueva de 1kWh tiene como valor monetario \$187.50 precio de minorista. Sobre este dato se estimada que las baterías a medio uso que posee la isla San Cristóbal están al



30% de su vida útil, lo que representa un valor monetario de \$56.25. A continuación, la ecuación (2).

Vida útil de las baterías con 1kWh

**Ecuación 2**

$$1kWh = \$187.50 * 30\% \text{ capacidad}$$

$$1kWh = \$56.25$$

Gráficamente se exponen dichos valores en la siguiente figura 1.

**Costo de batería**

Nueva a precio minorista \$187.50	Reciclada al 30% de su capacidad \$56.25
	

Figura 1. La figura representa el costo referencial de la batería.

Es así como; se conoce que el número de baterías para paneles fotovoltaicos de segunda vida son en total 2.400 unidades correspondiente al 30% del escenario uno analizado. A continuación, la ecuación (3).

Número de baterías a medio uso

**Ecuación 3**

$$\text{Número de baterías a medio uso} = \frac{2.400kWh \text{ (ecuacion 1)}}{1kWh}$$

$$\text{Número de baterías a medio uso} = 2.400 \text{ baterías}$$

De esta manera, el costo final de venta las baterías al 30% de su capacidad para reciclar en la Isla San Cristóbal es de \$135.000. A continuación, la ecuación (4).

Costo final de venta de las baterías al 30%

**Ecuación 4**

$$2.400 \text{ baterías} * \$56.25 = \$ 135.000$$

A manera de ilustración, se expone que el consumo promedio de energía en una vivienda de la isla es de 10 kWh, y al vender esta cantidad al precio ofertado por la tarifa actual, el valor total sería de \$56.25 frente al valor de la batería nueva de \$187.50.

*Tarifa actual*

**Ecuación 5**

$$10 \text{ kWh} * \$56.25 \text{ (valor del 30\% capacidad)} = \$ 562.50$$

**Escenario 2:**

En el segundo escenario se analiza el 70% restante de las baterías de medio uso para trasladar al continente acompañado de un mantenimiento a fin de venderlas. Para ello se obtiene el número de kWh y unidades a transportar vía marítima. A continuación, la ecuación (6).

Número de baterías a medio uso para traslado

**Ecuación 6**

$$8.000 \text{ kWh} * 70\% = 5.600 \text{ kWh}$$

$$\text{Número de baterías a medio uso para traslado} = \frac{5.600 \text{ kWh}}{1 \text{ kWh}}$$

$$\text{Número de baterías a medio uso para traslado} = 5.600 \text{ unidades}$$

Para efecto de los costos logísticos en cuanto al traslado y mantenimiento, se toma en cuenta el dato referencial del peso de batería (1kWh) que según Martín (2023) es de 10kg. De forma que las 5.600 baterías, al ser igualada a kg se obtiene 5.6000 kg, equivalen a 56 toneladas. A continuación, la ecuación (7).

Peso de baterías**Ecuación 7**

$$10 \text{ kWh} * 5.6000 \text{ kg} = 56 \text{ toneladas}$$

En consecuencia, se calcula el costo total de transporte por las 56 toneladas en barco cuyo valor monetario es \$14.000. A continuación, la ecuación (8).

Costo total de transporte**Ecuación 8**

$$56 \text{ toneladas} * \$250.00 = \$14.000.$$

En tal virtud, se plasman los siguientes escenarios:

*Tabla 2. Porcentajes totales de baterías disponibles. La tabla muestra los costos que se han generado para el proceso de recolección y venta de baterías.*

Porcentaje % total de baterías disponibles para segunda vida	Número de baterías para transportar	Costo unitario de transporte por batería	Costo unitario de mantenimiento por batería	Gastos unitarios totales por batería	Costo total de logística y mantenimiento del volumen de baterías disponibles	Valor estimado de venta del volumen de baterías disponible	Gastos indirectos (30%)	Utilidad por la venta del volumen de baterías disponible
<b>20%</b>	1600	\$0,04	\$20,00	\$20,04	\$32.071,43	\$120.000,00	\$36.000,00	\$51.928,57
<b>30%</b>	2400	\$0,04	\$20,00	\$20,04	\$48.107,14	\$180.000,00	\$54.000,00	\$77.892,86
<b>40%</b>	3200	\$0,04	\$20,00	\$20,04	\$64.142,86	\$240.000,00	\$72.000,00	\$103.857,14
<b>50%</b>	4000	\$0,04	\$20,00	\$20,04	\$80.178,57	\$300.000,00	\$90.000,00	\$129.821,43
<b>60%</b>	4800	\$0,04	\$20,00	\$20,04	\$96.214,29	\$360.000,00	\$108.000,00	\$155.785,71
<b>70%</b>	5600	\$0,04	\$20,00	\$20,04	\$112.250,00	\$420.000,00	\$126.000,00	\$181.750,00

Para tener en cuenta, la utilidad por batería se calcula restando el costo de venta de % de capacidad de batería menos los gastos totales por batería. De esta forma, la utilidad total se obtiene multiplicando la utilidad de la batería por el número de unidades vendidas.

Finalmente, para cumplir con el segundo objetivo, se ha definido una metodología para el acopio, traslado a continente y posibilidades de reciclaje de los módulos que alcancen su fin de vida útil, para lo cual, la metodología se divide en seis pasos:

**1. Acopio y clasificación:** Crear puntos de acopio adecuados para recibir las baterías. Una vez recibidos, clasificarlos para separar los módulos en función de su estado y tipo de tecnología de acuerdo a ELECGALÁPAGOS S.A.

**2. Evaluación y almacenamiento temporal:** Realizar una evaluación inicial de los módulos usados para determinar su condición y viabilidad para el reciclaje. Aquellos que estén en condiciones adecuadas para el reciclaje se almacenarán temporalmente.

**3. Traslado a continente:** Los módulos seleccionados para el reciclaje se transportarán al continente utilizando métodos seguros y respetuosos con el medio ambiente, cumpliendo con todas las regulaciones y normativas aplicables.

**4. Proceso de reciclaje:** Una vez en el continente, los módulos serán sometidos a un proceso de desmontaje y separación de componentes. Se recuperarán materiales valiosos como silicio, aluminio, vidrio, cobre y otros materiales para su posterior reutilización en la industria.

**5. Gestión de residuos:** Los residuos generados durante el proceso de reciclaje se manejarán de manera adecuada y responsable, siguiendo las buenas prácticas ambientales y normativas vigentes.

**6. Seguimiento y mejora continua:** Se llevará un seguimiento del proceso para evaluar su eficacia y realizar mejoras según sea necesario. Se mantendrá una gestión sostenible y responsable de los módulos, minimizando así su impacto ambiental.

Al establecer la metodología, se espera que la cantidad de módulos llegue a su fin de vida útil. Por lo tanto, contar con un proceso claro garantiza la correcta gestión de estos

residuos y maximizar la recuperación de materiales para su reutilización. Además, con la metodología se demuestra un compromiso con la sostenibilidad ambiental y se contribuye a la mitigación de los impactos negativos asociados con el desecho inadecuado de los módulos solares.

## Discusión

La evaluación y gestión sostenible de baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos representa un enfoque innovador y necesario en la transición hacia la energía renovable. Esta iniciativa no solo busca extender la vida útil de las baterías y reducir residuos, sino que también promueve la eficiencia energética y la mitigación del impacto ambiental.

Esto significa que se lleva a cabo un análisis del 30% de las baterías, que ya han sido utilizadas en paneles fotovoltaicos y ahora se pretende reciclar para darles una segunda vida. Esta acción implica que se buscará reutilizar estas baterías en lugar de desecharlas, lo que se traduce en la posibilidad de aprovechar nuevamente un total de 2.400 kilovatios-hora (kWh) de energía almacenada en estas baterías para su posterior uso en otros sistemas o aplicaciones.

Por ello, a través de los resultados presentados presentan un análisis minucioso de los costos y beneficios relacionados con el transporte, mantenimiento y venta de baterías de segunda vida. Los resultados revelaron que en un primer escenario un total de 2.400 baterías que se quedan en la isla se venden y los gastos totales por batería se calculan en \$562.50, que incluyen tanto el costo de almacenamiento como el de mantenimiento.

De acuerdo con Dupoy (2021) para poder reutilizarlo las baterías, es importante tener en cuenta los valores de capacitancia y los valores de resistencia de la batería. Ambos valores deben estar cerca uno del otro para mantener el equilibrio adecuado de la batería.

Sin embargo, a pesar de los costos asociados con el transporte y mantenimiento de las baterías, en un segundo escenario, el precio de venta del 70% de la capacidad de 5.600 baterías se fija en \$14.000 por tonelada. Es decir, esta cantidad representa el gasto total asociado con el proceso de reciclaje de las baterías en la isla, que incluyen el transporte al

continente, el manejo de residuos y otros costos operativos relacionados. Este cálculo refleja los costos involucrados en asegurar que las baterías sean transportadas y de mantenimiento, adecuadamente antes de ser vendidas o reutilizadas.

En concordancia con Campoverde et al. (2024) la batería no se procesa o implementa completamente, ya que todavía enfrenta desafíos de la tecnología, los costos, por ello, es necesario desarrollar su análisis para mejorar la eficiencia y reducir los desafíos de impacto ambiental, siendo importante su producción, uso y desperdicio.

Además, los resultados del trabajo indican que, a pesar de los gastos asociados con el transporte y mantenimiento, la venta de baterías de segunda vida sigue siendo rentable y puede generar un retorno financiero significativo. De acuerdo con Ango (2019) las baterías contienen sustancias químicas que pueden disolverse en el agua y contaminarla, por lo que según Pinto (2021) es importante un sistema de gestión eficaz y, afortunadamente, la mayoría de la gente en la isla conoce y recicla las baterías en la isla San Cristóbal.

Por ello, ante los resultados presentados, el potencial económico de reutilizar baterías en lugar de desecharlas, no solo reduce residuos, sino que también puede generar ingresos adicionales para las empresas involucradas en el proceso.

Es así que, el costo final de reciclar las baterías en la Isla San Cristóbal indica la necesidad de evaluar cuidadosamente los costos y beneficios de estas iniciativas, así como buscar posibles formas de reducir los gastos asociados con el reciclaje.

Por tanto, los resultados proporcionan una visión integral de los desafíos y oportunidades asociados con la gestión de baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos. Si bien existe un potencial significativo para generar ingresos y promover la sostenibilidad ambiental a través de la reutilización y reciclaje de estas baterías, es fundamental abordar de manera efectiva los costos operativos y garantizar la viabilidad económica a largo plazo de dichas iniciativas.

Finalmente, el uso de la metodología propuesta para la evaluación y gestión sostenible de baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos ha demostrado ser fundamental para comprender los aspectos económicos, ambientales y sociales asociados con esta práctica. La metodología proporciona un marco estructurado que permite identificar los costos y beneficios de diferentes escenarios de gestión de baterías, lo que facilita la toma de decisiones informadas.

Además, el plan de negocio establece objetivos claros y medidas de desempeño para monitorear y evaluar el progreso hacia esos objetivos a lo largo del tiempo (Romero, 2020). La integración de una estrategia de comercialización efectiva y la participación de partes interesadas clave, como la comunidad local y las autoridades reguladoras, también son aspectos importantes a considerar en el plan de negocio.

Por otro lado, la gestión sostenible y evaluación de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos ha permitido tener una ventaja social, puesto que, de \$187.50 que cuesta una batería, la reutilización de estas luego de haberles dado uso baja a \$56.25. Es decir, la reducción del costo por batería de \$187.50 a \$56.25 tiene un impacto significativo en la accesibilidad de la energía solar para una amplia gama de personas. Esto democratiza el acceso a la energía renovable, permitiendo que más hogares puedan beneficiarse de la energía solar sin tener que incurrir en costos prohibitivos. Esta reducción de costos contribuye a mejorar la calidad de vida de las comunidades al proporcionar una fuente de energía más asequible y sostenible.

Asimismo, la capacidad de instalar el sistema por sí mismo ofrece una gran autonomía y empoderamiento a los propietarios de viviendas. Esto les permite tomar el control de su consumo de energía y reducir su dependencia de fuentes de energía tradicionales y más contaminantes. Además, al poder instalar el sistema por sí mismos, los propietarios pueden



ahorrar en costos de instalación y mantenimiento, lo que hace que la energía solar sea aún más atractiva y accesible.

La exención de impuestos para los paneles solares en Galápagos fomenta la adopción de energía solar en la región. Esta política incentiva la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, lo que beneficia tanto al medio ambiente como a la economía local. Además, el reducir los costos asociados con la instalación de paneles solares, ayuda a hacer que la energía solar sea aún más asequible para los residentes de Galápagos, lo que contribuye a la creación de comunidades más sostenibles y resilientes.

De la misma manera, al realizar el pago por las baterías como minorista en lugar de mayorista los propietarios de viviendas pueden tener acceso a precios más competitivos y a una mayor variedad de opciones, lo que les permite encontrar la solución que mejor se adapte a sus necesidades específicas. Esto promueve la competencia en el mercado y fomenta la innovación en tecnología de almacenamiento de energía, lo que a su vez puede conducir a mejoras continuas en la eficiencia y la fiabilidad de los sistemas de energía solar.

Un punto importante que se debe considerar es que, debe haber un acuerdo entre los gobiernos autónomos y el Estado, para proporcionar el marco legal y regulatorio necesario para promover la adopción generalizada de prácticas sostenibles en la gestión de sistemas solares fotovoltaicos de segunda vida. Esto incluiría la implementación de políticas que fomenten la recolección, reciclaje y reutilización de componentes solares, así como la regulación de estándares de calidad y seguridad para garantizar la eficiencia y la fiabilidad de los sistemas renovados.

Además, un acuerdo de este tipo permitiría dirigir los recursos financieros de manera efectiva hacia iniciativas que beneficien directamente a la población de Galápagos. Esto podría incluir programas de subsidios o incentivos para la instalación de sistemas solares en

hogares y comunidades, así como el desarrollo de infraestructuras de almacenamiento de energía y redes inteligentes que mejoren la resiliencia energética de la región.

Al mismo tiempo, un acuerdo entre organizaciones locales y nacionales también abriría la puerta a la colaboración internacional y la obtención de fondos y recursos adicionales para proyectos de energía renovable en Galápagos. Esto podría incluir donaciones, préstamos preferenciales o inversión extranjera directa en infraestructuras solares y programas de capacitación y desarrollo de habilidades para la población local.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos presentan perspectivas diferentes sobre la gestión de las baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos. En el primer escenario, donde las baterías se quedan en la isla y se venden para su uso en paneles fotovoltaicos, se genera un valor de \$562.50. Por otro lado, en el segundo escenario, donde las baterías son transportadas al continente, reacondicionadas y luego vendidas, se logra un valor de \$14.000. La comparación entre estos dos escenarios revela que el segundo escenario resulta en una rentabilidad significativamente mayor, sobre el valor generado en el primer escenario.

Tras el desarrollo resultados el proceso de reacondicionamiento y venta de baterías de segunda vida puede ser una estrategia efectiva para maximizar la rentabilidad y el valor económico de estos recursos. Al invertir en el transporte y mantenimiento de las baterías, se abre la oportunidad de obtener una utilidad bruta superior, lo que a su vez contribuye a una mayor sostenibilidad financiera de las operaciones relacionadas con la energía solar en la isla. Esto subraya la importancia de considerar cuidadosamente las opciones disponibles y buscar oportunidades para mejorar la rentabilidad y la eficiencia en la gestión de recursos energéticos renovables como las baterías de segunda vida.

En definitiva, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos de segunda vida y su gestión sostenible ofrecen una variedad de beneficios económicos, sociales y medioambientales. La reducción de costos, el empoderamiento de los propietarios de viviendas y la promoción de comunidades sostenibles son solo algunos de los aspectos positivos destacados. Sin embargo, para maximizar estos beneficios y garantizar una transición efectiva hacia la energía solar, es crucial establecer acuerdos entre organizaciones locales y nacionales. Este enfoque colaborativo proporciona el marco legal, regulatorio y

financiero necesario para impulsar la adopción de prácticas sostenibles y dirigir recursos hacia iniciativas que beneficien a la población, como en el caso específico de Galápagos. En última instancia, esta cooperación es esencial para asegurar un futuro más limpio, más justo y más próspero para todos.

## Recomendaciones

Basándonos en los resultados se sugiere explorar estrategias que optimicen el proceso de transporte y mantenimiento de las baterías de segunda vida. Esto podría incluir la implementación de prácticas logísticas más eficientes y el uso de tecnologías innovadoras para reducir los costos operativos asociados con el transporte y el mantenimiento. Además, se podría considerar la posibilidad de establecer acuerdos de colaboración con empresas especializadas en el reciclaje y reacondicionamiento de baterías en el continente, lo que podría facilitar y agilizar el proceso de reciclaje y reutilización de las baterías.

Por otro lado, se recomienda desarrollar programas de sensibilización y educación dirigidos a la comunidad local sobre la importancia del reciclaje y la reutilización de baterías de segunda vida. Esto podría incluir campañas de concientización sobre los beneficios ambientales y económicos de estas prácticas, así como la promoción de programas de recolección de baterías usadas para su posterior reciclaje. Al aumentar la conciencia pública sobre estos temas, se puede fomentar una mayor participación y colaboración de la comunidad en la gestión sostenible de los recursos energéticos renovables en la isla.

## Referencias bibliográficas

- Ango, D. (2019). *Propuesta del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Cantón Santa Cruz, de la Provincia de Galápagos, período 2018*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Bustos, J., Jallay, L., Barreto, V., Hernández, J., & Guevara, E. (2024). Cartografía de las ubicaciones óptimas para la instalación de plantas de energía solar en apoyo de la transmisión de la matriz energética en las Islas Galápagos. *ELECTRIMACS*(1), 1-11.
- Campoverde, J., Ochoa, D., Villa, E., & Astudillo, P. (2024). Reutilización de baterías de vehículos eléctricos para aplicaciones de segunda vida en sistemas eléctricos de potencia con una alta penetración de energía renovable: una revisión sistemática de la literatura. *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*(31), 95-105.
- Dupoy, F. (2021). *METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO EN FORMATO 18650 PARA APLICACIONES DE SEGUNDA VIDA*. Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Espejo, C., & Aparicio, A. (2020). La producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en España en el siglo XXI. *Revista de Estudios Andaluces*, 39, 66-93.
- Martín, P. (25 de mayo de 2023). *Coches eléctricos: ¿tiene sentido moverse sobre baterías de hasta 1.300 kilos de peso?* Obtenido de El Confidencial:  
[https://www.elconfidencial.com/motor/electricos/2023-05-25/coche-electrico-vehiculo-bateria-litio-peso-energia-seguridad\\_3635977/](https://www.elconfidencial.com/motor/electricos/2023-05-25/coche-electrico-vehiculo-bateria-litio-peso-energia-seguridad_3635977/)

Mera, L., Otero, P., & Calle, V. (2021). Application of the Montecarlo Simulation for the Implementation Analysis of Fast Charging Stations for Electric Vehicles in the Galapagos Province. *CENACE, 17*, 143-152.

Mesa, A., Mantilla, M., & Aristizabal, M. (2023). *Sistema desalinizador solar que supla las necesidades básicas para el acceso de agua potable en zonas costeras*. Tesis Doctoral. Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Pinto, C. (2021). Interacciones tóxicas entre contaminantes ambientales y el hombre. *Notas de Campus(1)*, 1-12.

Romero, M. (2020). *Plan de negocio*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Cuyo.

Synch, A. (2022). *Diseño de un Esquema de Alivio de Carga Aplicado al Sistema de Distribución Eléctrica de la Isla San Cristóbal en Galápagos*. Tesis Doctoral. ESPOL. FIEC.

Tejero, A. (2023). *elEconomista*. Obtenido de El precio de las baterías, en mínimos históricos: más producción y una demanda sobrevalorada:  
<https://www.eleconomista.es/motor/amp/12557899/el-precio-de-las-baterias-en-minimos-historicos-mas-produccion-y-una-demanda-sobrevalorada>