

Condiciones y segmentos de la transportación en las Galápagos: estado actual de la electromovilidad y oportunidades

(Conditions and Segments of Transportation in Galapagos Islands: Current State of Electromobility and Opportunities)

Danny Ochoa-Correa, Rodrigo Sempértegui-Álvarez
Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador
danny.ochoac@ucuenca.edu.ec, rodrigo.sempertegui@ucuenca.edu.ec

Resumen: Las islas Galápagos, reconocidas como un tesoro de biodiversidad y símbolo global de conservación, enfrentan amenazas significativas, principalmente debido al turismo y al transporte basado en combustibles fósiles. La transición hacia un sistema de transporte más sostenible y ecológico se vuelve esencial para preservar este ecosistema único. Este artículo tiene por objeto identificar nichos específicos donde pueden implementarse eficazmente iniciativas orientadas hacia un nuevo modelo de transportación terrestre y marítima eficiente y amigable con el medioambiente. La obtención de datos cruciales para esta investigación se logró mediante colaboraciones estratégicas con entidades gubernamentales ecuatorianas y la recopilación de información en el terreno realizada por el equipo de investigación. Los datos presentados en este artículo no solo proporcionan una visión detallada de las condiciones y segmentos del transporte en las islas, sino que también aspiran a ser un semillero de oportunidades. Se busca que otros investigadores y profesionales del transporte encuentren inspiración y una fuente de consulta para desarrollar e implementar iniciativas específicas en el ámbito de la electromovilidad.

Palabras clave: electromovilidad, energía, entornos insulares, sostenibilidad, transporte.

Abstract: The Galapagos islands, recognized as a biodiversity treasure and a global symbol of conservation, face significant threats primarily due to tourism and fossil fuel-based transportation. The transition to a more sustainable and ecological transportation system becomes essential to preserve this unique ecosystem. This article aims to identify specific niches where initiatives geared towards a new model of efficient and environmentally friendly land and maritime transportation can be effectively implemented. Crucial data for this research were obtained through strategic collaborations with Ecuadorian government entities and on-site information gathering conducted by the research team. The data presented in this article provide a detailed insight into the conditions and segments of transportation on the islands, and it aspires to be a seedbed of opportunities. The goal is to inspire other researchers and transportation professionals, serving as a source of inspiration and reference for developing and implementing specific initiatives in the field of electromobility.

Keywords: electromobility, energy, island environments, sustainability, transportation.

1. INTRODUCCIÓN

El archipiélago de Galápagos es una de las provincias que forma parte de la Coordinación Zonal 5 de zonificación y planificación territorial ecuatoriana. Las islas en conjunto cuentan con una extensión de superficie de 8.010 km², a una distancia de 970 km aproximadamente desde las costas continentales del Ecuador. La población en el año 2021 bordeaba los 33.042 habitantes, distribuidos en las islas Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana; el archipiélago se encuentra dentro de una reserva marina de 193.000 km² lo que lo ubica entre las reservas marinas más grandes del mundo [1], [2].

Administrativamente la provincia de Galápagos está agrupada en 3 cantones: San Cristóbal (Capital Provincial), Isabela (cantón más extenso) y Santa Cruz. Este último es el principal polo de desarrollo poblacional y zona económica (ver Figura 1).



Figura 1. División territorial a nivel cantonal de las islas Galápagos.

Las islas Galápagos con su atractivo natural y su vida silvestre única, se las considera como un lugar turístico particular a nivel mundial [3]. Es, por ende, muy importante mantener un desarrollo permanente del sector turístico, ya que el ingreso económico que se genera por esta actividad permite impulsar la economía de todo su territorio, el desarrollo local y atención territorial. No obstante, este enfoque también plantea desafíos ambientales, ya que los proyectos turísticos promovidos en los últimos años han generado preocupaciones relacionadas con la contaminación provocada por los turistas, la contaminación acústica y la posible introducción de especies invasoras que amenazan la flora y fauna autóctonas de la zona [4], [5].

Además, en el marco de la pandemia mundial debido a la pandemia de COVID-19, se ha desatado una crisis económica, social y sanitaria, la misma que ha representado un cambio al estilo de vida de toda la población y, por ende, la actividad de movilización y turismo desde dentro y fuera del país hacia las islas, es uno de los sectores que más se ha afectado drásticamente y representa además una reducción en el desplazamiento y un cambio significativo en los patrones de movilidad en todo el mundo [6], [7], [8]. Durante los diversos periodos de confinamiento y las restricciones impuestas, se pudo observar una notable disminución en los niveles de contaminación, lo que repercutió de manera beneficiosa en la calidad del aire. El sector del transporte, tanto de carga como de pasajeros, experimentó reducciones significativas en sus impactos ambientales. Las imágenes que se difundieron en las redes sociales, provenientes de diversas ciudades a nivel nacional e internacional, no solo retrataron urbes desprovistas de su población, sino también un cambio en el comportamiento de la vida silvestre, con animales que, de manera sorprendente, se aventuraron a moverse con comodidad incluso en medio de las zonas urbanas densamente pobladas [9].

En vista de estas preocupantes señales, resulta imperativo desarrollar un plan de movilidad altamente eficiente y un sistema de transporte terrestre y marítimo sostenible en las islas Galápagos, que también garantice una adecuada interconexión con las demás islas del archipiélago. Dado que el sector del transporte desempeña un papel de gran relevancia tanto en la

esfera económica como en la ecológica, es esencial señalar que la principal fuente de energía en este ámbito se basa en el uso de combustibles fósiles. Estos combustibles, responsables del 48,5% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector energético a nivel nacional [10].

El cambio hacia la electromovilidad en las islas Galápagos se presenta como esencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles, evitando riesgos de desastres ambientales como el del buque "Jessica". Este incidente, ocurrido en enero de 2001, involucró el encallamiento del buque, que transportaba 600 toneladas de diésel y 300 toneladas de aceite combustible. El derrame resultante de 175.000 galones de diésel y fuel oil tuvo impactos devastadores en la biodiversidad de las islas, afectando a animales marinos y aves [11]. Al adoptar vehículos eléctricos, se minimiza la necesidad de transportar combustibles contaminantes hacia las islas, disminuyendo los peligros de derrames y protegiendo su frágil ecosistema.

Varios sistemas insulares a nivel mundial han logrado implementar exitosamente la electromovilidad como parte integral de sus estrategias para abordar desafíos ambientales y energéticos. Ejemplos notables incluyen Hawái, que ha avanzado en la integración de vehículos eléctricos y estaciones de carga para reducir su dependencia de los combustibles fósiles [12]. La isla de Man en el Reino Unido ha adoptado iniciativas de electromovilidad [13], al igual que diversas islas en Nueva Zelanda, como la isla Norte [14]. Islandia, con una matriz energética basada en fuentes renovables, ha liderado esfuerzos para una movilidad más sostenible [15], mientras que Gotland en Suecia ha implementado programas exitosos para fomentar el uso de vehículos eléctricos y desarrollar una infraestructura de carga eficiente [16].

Impulsando iniciativas contundentes para fomentar el uso de medios de electromovilidad en las islas Galápagos, se podría avanzar hacia la descarbonización del sector del transporte, con el propósito de reducir tanto las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como otros contaminantes, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y aumentar la eficiencia del sistema de transporte [17], [18].

Según datos a nivel nacional se tiene que, en 2018, el transporte de carga pesada representó el 46,8 % del total de emisiones de GEI del sector transporte, seguido por el transporte de carga liviana (20,8 %), los autos y vehículos utilitarios (Sport utility vehicle, SUV por sus siglas en inglés) (17,3 %), taxis y buses (7,8 %) y otros (1,7 %) [19]. En medio de la grave crisis climática, las ciudades han comenzado a reconsiderar la vital importancia de la revitalización del espacio público y la consecución de sistemas de movilidad urbana que estén libres de emisiones. Este cambio de enfoque busca la creación de entornos urbanos más limpios y conectados, en los cuales la movilidad eléctrica desempeña un papel central [20]. La descarbonización gradual de los sistemas energéticos, junto con la electrificación del transporte, se presenta como una oportunidad para una recuperación sostenible ante la crisis económica y sanitaria que dejó la pandemia de COVID-19 [7], [20]. Esto permitiría una reactivación alineada con el Acuerdo de París e impulsaría el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en los que se considera como una de sus metas: “de aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo” [21].

En este sentido, el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016 - 2035 se destaca como un “instrumento de política pública que busca mejorar los hábitos de consumo energético, mediante la incorporación de la eficiencia energética en los sectores relacionados con la provisión y uso de la energía” [22]. El plan establece una serie de medidas para alcanzar el objetivo de reducir el consumo energético del sector en 340 Millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (MBEP) vs. una línea base de escenario *business-as-usual*. Entre las medidas propuestas se incluyen:

- Desarrollar etiquetado de rendimiento energético para vehículos nuevos.
- Mejora de infraestructura de transporte.
- Capacitaciones técnicas de conducción eficiente.
- Sustitución parcial de combustibles fósiles por biocombustibles.
- Incorporación de vehículos híbridos, eléctricos y de nuevas tecnologías que se comercialicen en el futuro.
- Se incluye un eje Galápagos en el cual se incorporan medidas específicas para las islas, considerando su contexto y necesidades particulares.

La implementación de estas medidas se anticipa que resultará en ahorros energéticos significativos, con un enfoque particular en la promoción de la movilidad sostenible.

Enmarcado en este contexto, este artículo presenta un estudio de las condiciones y segmentos de la transportación en la provincia de Galápagos, enfocado en la electromovilidad, con el objeto de identificar aquellos nichos en los cuales se puedan implementar, de forma efectiva, iniciativas orientadas al cambio de paradigma en el sector de transportación terrestre y marino hacia un modelo sostenible, ecológico y eficiente. Los insumos necesarios para la realización de esta investigación se obtuvieron a través de acuerdos de colaboración con diversas entidades gubernamentales ecuatorianas y a través de la recopilación de información en el terreno realizada por el equipo de investigación.

2. METODOLOGÍA

En esta sección se ofrece una revisión del estado actual del sector del transporte en la provincia de Galápagos. La descripción que se presenta en las diversas subsecciones se ha desarrollado a partir de datos primarios facilitados por varias entidades gubernamentales ecuatorianas y, en menor medida, por organizaciones internacionales vinculadas al ámbito del transporte. Cabe señalar que la información proporcionada por los organismos estatales no está alojada en un solo portal o informe, por lo que obedece a distintos rangos temporales. Ante esta diversidad de fuentes, el equipo de investigación ha dedicado esfuerzos para sistematizar y organizar la información de manera coherente, como se ilustra en el diagrama de Gantt presentado en la Figura 2.

2.1. Transporte aéreo

Las islas Galápagos están conectadas al continente ecuatoriano exclusivamente a través de medios aéreos y marítimos. En cuanto al tráfico aéreo, las islas cuentan con infraestructura controlada por la Dirección General de Aviación Civil. Para facilitar la conectividad entre Galápagos y el continente ecuatoriano, se utilizan los aeropuertos de Baltra (Seymour) y el aeropuerto de San Cristóbal. El aeropuerto de la isla Isabela se destina principalmente al tráfico aéreo entre las islas mencionadas anteriormente. La Tabla 1 muestra la distribución de vuelos procedentes del continente ecuatoriano durante el período de 2011 a 2018. Estos registros de vuelos permiten transportar un promedio de 110 pasajeros por vuelo a Baltra y 100 hacia San Cristóbal. Además, la Tabla 2 proporciona detalles sobre la cantidad de pasajeros transportados hacia las islas desde el continente ecuatoriano. La información proporcionada en las Tablas 1 y 2 fueron recopiladas en campo en las dependencias del Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP, cantón Puerto Baquerizo Moreno, Galápagos.

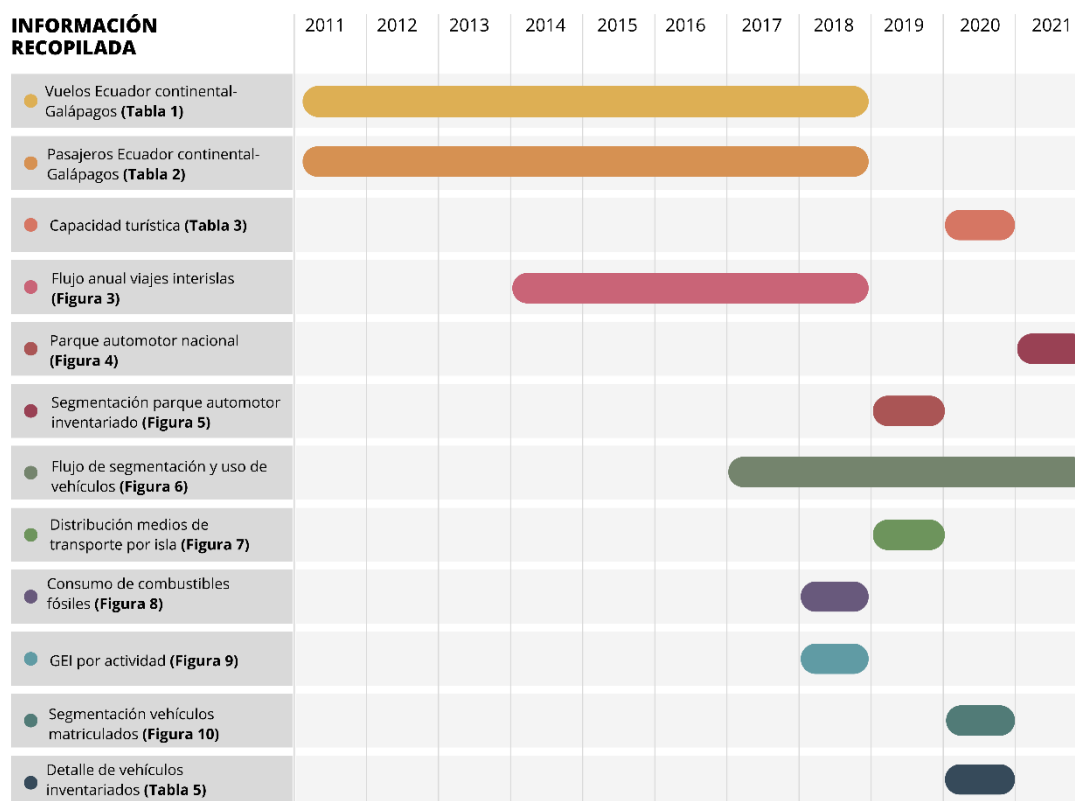


Figura 2. Línea de tiempo de la información recopilada de los organismos gubernamentales.

Tabla 1. Vuelos provenientes desde Ecuador continental con destino Galápagos.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vuelos con destino: Baltra	1.625	1.589	1.760	1.700	2.024	2.074	2.112	2.264
Vuelos con destino: San Cristóbal	591	646	795	785	759	768	746	832
Total	2.216	2.235	2.555	2.485	2.783	2.842	2.858	3.096

Tabla 2. Pasajeros provenientes de Ecuador continental con destino Galápagos.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Vuelos con destino: Baltra	177.860	169.393	183.488	194.851	215.016	220.315	249.608	262.647
Vuelos con destino: San Cristóbal	56.952	63.135	76.114	77.794	74.087	73.039	82.295	91.983
Total	234.812	232.528	259.602	272.645	289.103	293.354	331.903	354.630

2.2. Transporte marítimo

La llegada de turistas hacia las islas Galápagos tiene un impacto significativo en la revitalización de la economía local, que se encuentra fuertemente influenciada por el sector turístico. Esta participación activa en la movilidad hacia las islas contribuye en gran medida a la estimulación de la economía interna. La Tabla 3 presenta información detallada sobre la capacidad turística de cada isla en el año 2020, la cual fue consultada en el Consejo de Gobierno

de Régimen Especial de Galápagos – CGREG. El análisis de las cifras de esta tabla pone en evidencia que el turismo desempeña un papel fundamental en la sustentabilidad económica de la región.

Tabla 3. Detalle de la capacidad turística de las islas Galápagos para el año 2020.

Actividad		San Cristóbal	Floreana	Isabela	Santa Cruz	Total
Alojamientos		76	10	70	156	312
Agencia de viajes		56	1	51	130	238
Alimentos y bebidas		32	6	38	54	130
Embarcaciones sin pernoctación (ESP)		32	0	23	55	110
Embarcaciones con pernoctación (ECP)		18	0	2	56	76
Transporte terrestre		3	0	1	4	8
Total		217	17	185	455	874

El sector turístico de Galápagos requiere el desplazamiento entre islas. Como dato referencial, en el año 2018 se registraron 310.874 pasajeros movilizados entre islas, a través de 15.263 viajes, según la publicación del Observatorio de Turismo Galápagos “Estadísticas Turismo Galápagos 2018”. El informe refleja que, entre los años 2017 y 2018 hubo un incremento del 14 % en el desplazamiento entre islas respecto al de años anteriores. Según los datos publicados por esta misma fuente, en el informe estadístico se indica que en promedio en Galápagos se realizaban 46 viajes de pasajeros en lancha diarios, de los cuales 26 lanchas zarpan desde o hacia Isabela, 16 zarpan desde o hacia San Cristóbal y 4 zarpan desde o hacia Floreana.

Además de las lanchas que se emplean para el transporte interislas, existen embarcaciones que ofrecen servicio de crucero y pernoctación. Esto representa unas 1.788 plazas disponibles según los datos del “Informe de Capacidad Instalada Galápagos 2020”, que son ofertadas a los turistas mediante las agencias de viajes. En los últimos años, previo a la presencia del COVID-19 se considera que hubo un crecimiento en estas dos actividades. En la Figura 3 se muestra el flujo de viajes interislas para el periodo 2014-2018, el cual ha sido elaborado por el equipo investigador en base a la información bruta proporcionada por el Ministerio de Turismo y las entidades locales del Parque Nacional Galápagos.

Cabe indicar, que todos estos pasajeros son transportados y desplazados entre islas empleando los diferentes puertos o muelles de pasajeros que, en el caso de Galápagos, son administrados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Municipales. Únicamente en el caso de la isla Floreana, el muelle Rolf Wittmer es administrado por un GAD Parroquial. En la Tabla 4 se muestra la infraestructura disponible para pasajeros y carga toda la provincia de Galápagos, según la información recabada en el Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos – CGREG. Los muelles de Puerto Ayora, Puerto Baquerizo Moreno y del Puerto de Seymour están destinados únicamente para embarque y desembarque de pasajeros. El muelle de Puerto Villamil se encuentra junto al muelle de carga, lo que genera aglomeraciones cuando se realizan las dos

operaciones al mismo tiempo. Asimismo, el muelle de Puerto Velasco Ibarra se usa tanto para embarque y desembarque de carga y pasajeros.

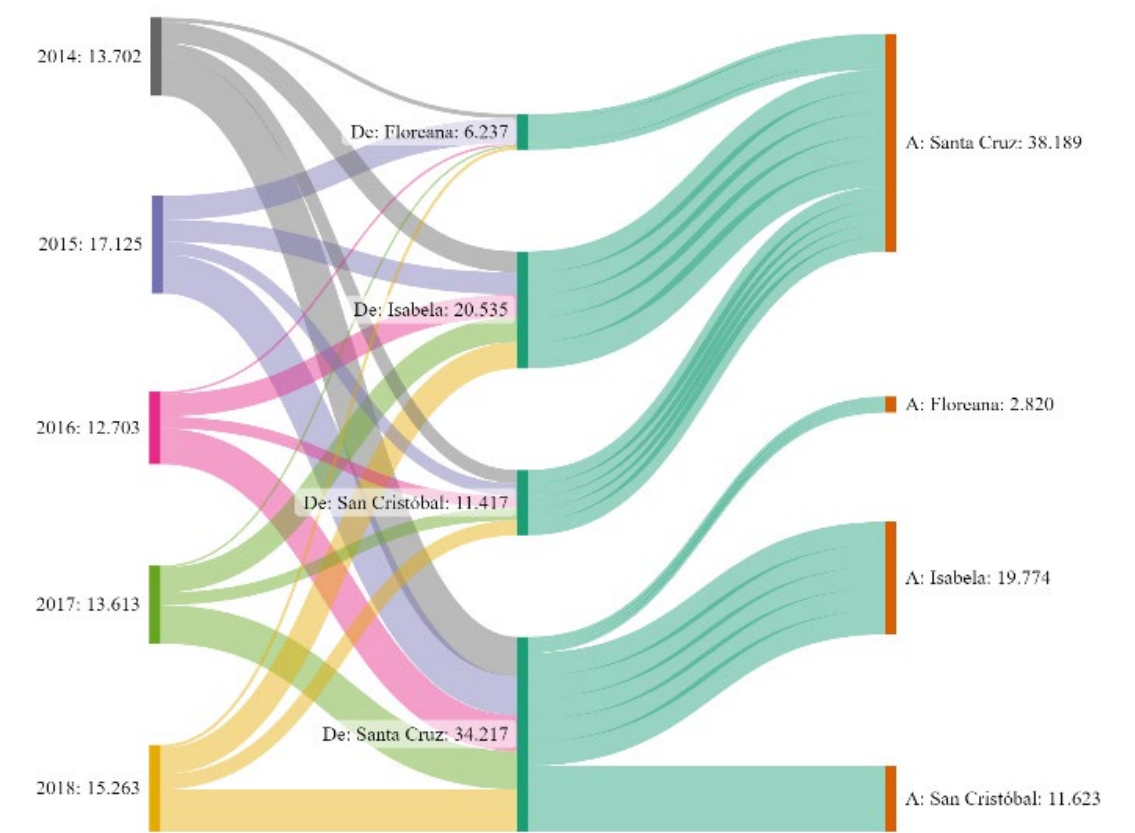


Figura 3. Flujo anual acumulado de viajes interislas en Galápagos.

Tabla 4. Detalle de puertos disponibles para el transporte interislas.

Locación	 Pasajeros/Turismo	 Carga
Puerto Baquerizo Moreno (San Cristóbal)	Muelle Acuario	Muelle Jesús de los Mares Muelle de La Predial
Puerto Velasco Ibarra (San Cristóbal)	Muelle Rolf Wittmer	Muelle Rolf Wittmer
Puerto Villamil (Isabela)	Marina de fibras (Junto al muelle El Embarcadero)	Muelle El Embarcadero
Puerto Ayora (Santa Cruz)	Muelle Gus Angermeyer	Muelle municipal de carga de Puerto Ayora
Santa Rosa (Santa Cruz)		Canal de Itabaca
Puerto Seymour - Baltra (Santa Cruz)	Muelle Seymour	

El Plan Galápagos 2016 desarrollado por el Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos (CGREG) indica que ninguno de estos muelles de carga cuenta con un plan de manejo ambiental que minimice o mitigue el impacto de las operaciones de estas instalaciones portuarias. Tampoco cuentan con ningún tipo de seguridad industrial, ya que estas terminales se utilizan para abastecer de combustible a buques pequeños, además de las operaciones de carga y descarga de mercancías.

2.3. Transporte terrestre

En las islas Galápagos, de acuerdo a la información aportada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para la construcción del Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos 2015-2020 (Plan Galápagos 2016), elaborado por el CGREG, se indica que en toda la provincia existe un total de 376,11 km de vías terrestres, divididas en 81,83 km en las zonas urbanas, 294,28 km en el área rural; componiéndose en la ruralidad de 76,2 km de vías de primer orden, 41,48 km de vías de segundo orden y 176,67 km de caminos vecinales y vías de tercer orden.

Por su parte, el parque automotor registrado mediante el sistema de matriculación vehicular en las islas Galápagos representa el 0,064 % del conglomerado nacional matriculado; en el caso de domiciliado, es el 0,09 %. Esto según los registros de la Agencia Nacional de Tránsito - ANT. En total, la provincia de Galápagos cuenta con 1.603 vehículos matriculados y 2.276 registrados con domicilio en la provincia para el año 2021, colocándola en la posición 24 de 24 en la escala nacional. La tasa de vehículos matriculados en las islas Galápagos se sitúa en una distribución de 49 vehículos por cada mil habitantes, mientras que la tasa de vehículos domiciliados en las islas asciende a 69 vehículos por cada 1.000 habitantes. Estos dos indicadores se calculan teniendo en cuenta exclusivamente la población de residentes permanentes en las islas Galápagos proyectada para el año 2020, la cual se estima en 33.042 habitantes. La Figura 4 ofrece una comparativa a nivel nacional para un análisis más completo de estas tasas. Estos datos reflejan la importancia del transporte terrestre en las islas y su relación con la densidad de población, lo que puede influir en los retos y oportunidades del sector del transporte.

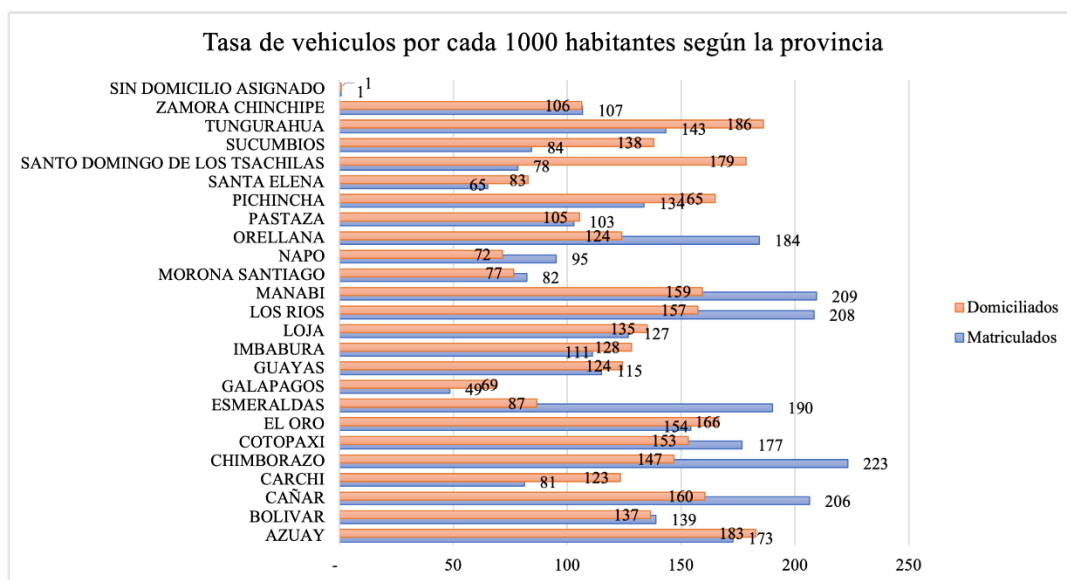


Figura 4. Situación del parque automotor ecuatoriano por cada mil habitantes, detallada por provincia en el año 2021.

En el año 2019, con el propósito de crear un inventario de vehículos completo en las islas Galápagos y combatir el subregistro y el ingreso fraudulento de vehículos, el CGREG y la ANT llevaron a cabo un censo vehicular que permitió el registro de 4.536 unidades. De este registro,

se determinó que el tipo de vehículo más frecuente en el archipiélago es la motocicleta, representando un 57,63 % del total, mientras que los vehículos menos comunes se agrupan en la categoría "OTROS," con un 0,11 %. Esta categoría engloba una variedad de vehículos, incluyendo tanqueros, volquetas, buggies y tráileres. La Figura 5 presenta la distribución de la composición vehicular en Galápagos. Esta revela una composición diversa del parque vehicular con un notable 58 % de los vehículos censados siendo motocicletas, seguido por el 22 % de camionetas de uso mixto, el 5 % de vehículos particulares SUV y otro 5 % de camiones, se destaca la predominancia de estos medios de transporte en las islas. Esta distribución presenta oportunidades significativas para la implementación de estrategias de micromovilidad y movilidad eléctrica en el archipiélago. Dada la alta proporción de motocicletas, la introducción de opciones de movilidad eléctrica en este segmento podría ofrecer una solución eficiente y sostenible. Además, considerando el uso mixto de camionetas, la transición hacia vehículos eléctricos en este sector podría no solo reducir las emisiones sino también contribuir a la movilidad más eficiente y sostenible, alineándose con los objetivos de conservación ambiental de las islas Galápagos. Complementariamente, la Figura 6, que representa el flujo de segmentación de matriculación en Galápagos por cantón y tipo de uso entre los años 2017 y 2021, ofrece una visión reveladora de la distribución y evolución de los vehículos matriculados en el archipiélago. Destaca la concentración de registros en tres islas principales: Santa Cruz, San Cristóbal y, en menor medida, Isabela. A lo largo del periodo analizado, se observa un aumento constante en la incorporación de nuevos vehículos en las islas. Notablemente, el 75 % de estos vehículos se destinan principalmente a uso particular, mientras que el 18 % se emplea para transporte público y el restante 7 % se asigna a entidades gubernamentales. Ambas gráficas han sido elaboradas por el equipo de investigación basándose en la información primaria recopilada. Estos datos resultan esenciales para entender la estructura vehicular en las islas Galápagos y planificar políticas de transporte adecuadas.

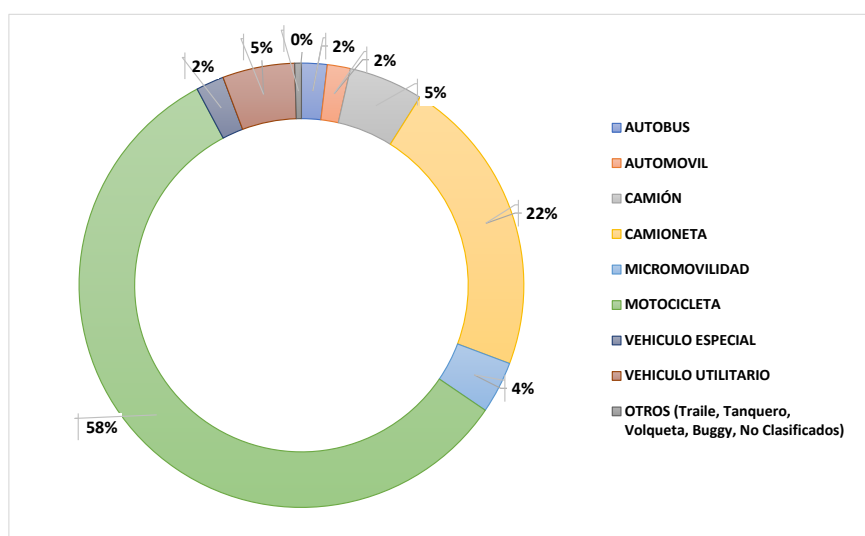


Figura 5. Segmentación del parque automotor inventariado durante el Censo Vehicular CGREG-ANT 2019.

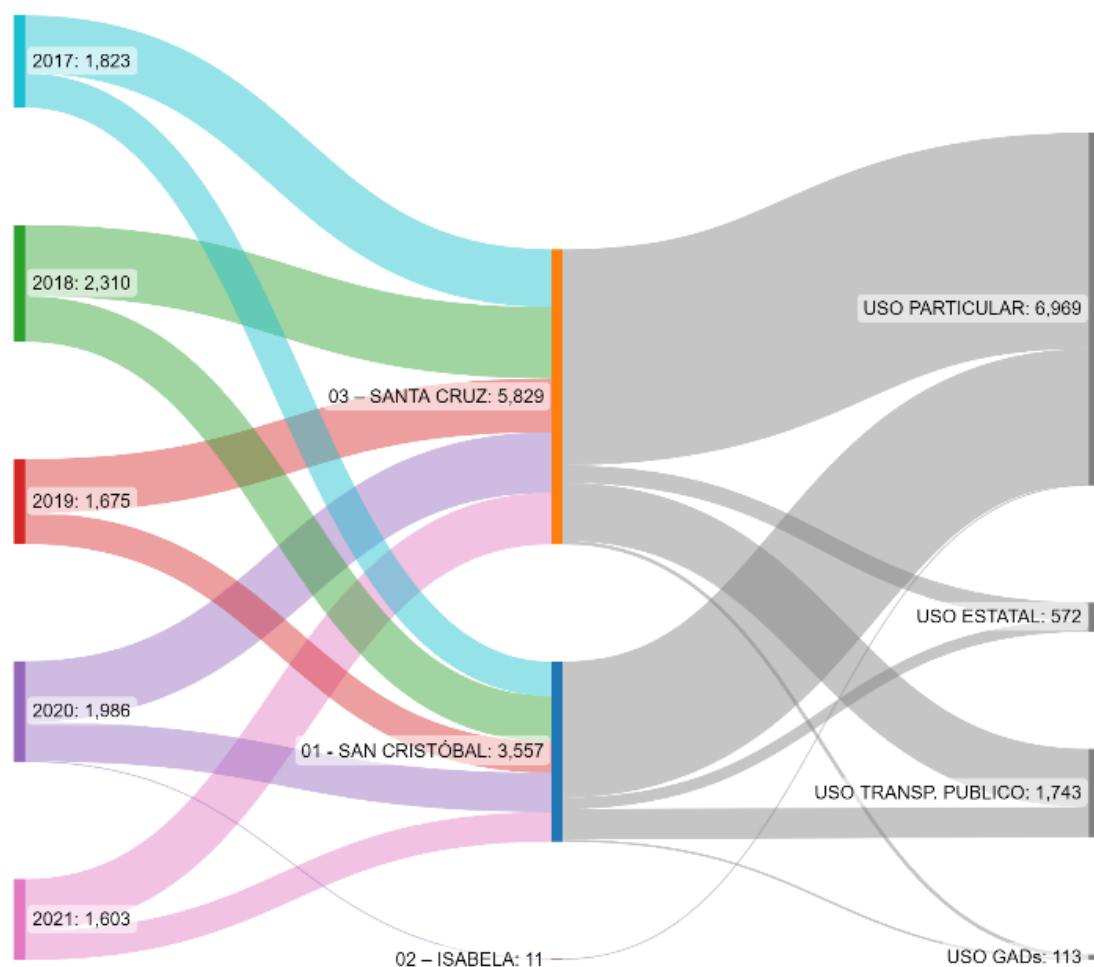


Figura 6. Flujo de segmentación de matriculación en Galápagos por cantón y tipo de uso en el periodo 2017-2021.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Condiciones de movilidad interna en Galápagos

Conforme al Plan Galápagos 2020-2030, en lo que respecta a la movilidad dentro de los centros poblados de las islas, se destaca que los principales medios de desplazamiento son los no motorizados, tales como la bicicleta o simplemente caminar. En San Cristóbal, estos medios representan un 49,60 % de la movilidad, mientras que en Santa Cruz alcanzan el 79,20 % y en Isabela llegan al 78,00 %. Es relevante observar que la bicicleta es el medio de transporte más empleado en las islas de Isabela y Santa Cruz. La Figura 7 proporciona una representación gráfica de la distribución porcentual de los diferentes medios de transporte utilizados en los centros poblados, enfatizando la preferencia por los métodos no motorizados, lo que sugiere un enfoque sostenible en la movilidad de estas comunidades insulares.

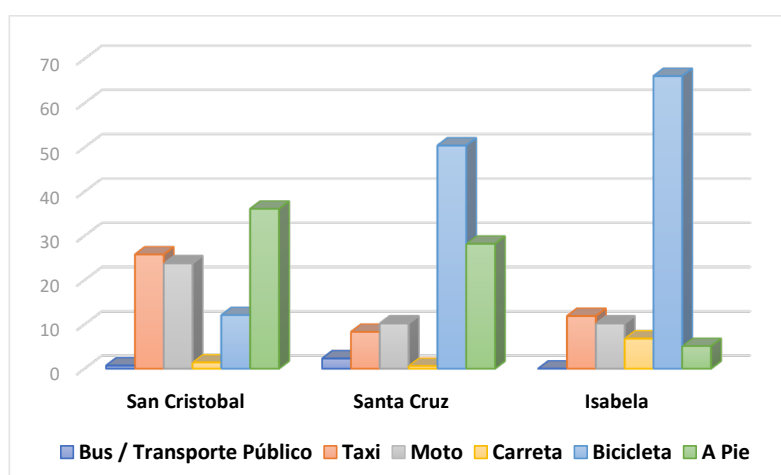


Figura 7. Distribución de los medios de transporte empleados en los centros poblados, por cada cantón en el año 2019.

3.2. Uso de combustibles

Para el año 2018, según los datos proporcionados por el Balance Energético de la Provincia de Galápagos, elaborado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador, el sector del transporte se posiciona como el principal consumidor de combustibles, con un total de 8.005.369 galones de Diesel y 4.036.228 galones de Gasolina. Estos valores equivalen a 191,61 y 86,09 miles de Barriles Equivalentes de Petróleo (kBEP), respectivamente. Es importante señalar que, únicamente en el caso del Diesel, se estima que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) alcanzaron los 119,63 miles de toneladas equivalentes de CO₂ (kTeCO₂). El sector del transporte marítimo destaca como el principal contribuyente a estas emisiones, representando aproximadamente el 59 % del consumo total de Diesel, con un estimado de 163,72 kBEP.

Es relevante destacar que el sector del transporte aéreo solamente contempla los desplazamientos interislas. La Figura 8 proporciona un resumen visual del panorama relacionado con el uso de combustibles de origen fósil en las islas Galápagos. Estos datos subrayan la necesidad de abordar eficazmente las emisiones de GEI y promover prácticas de transporte más sostenibles en la región.

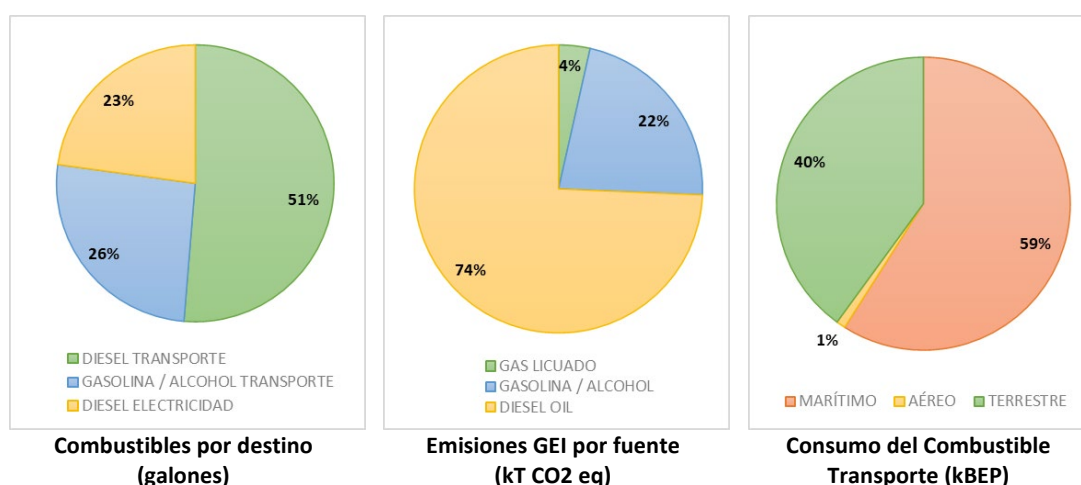


Figura 8. Detalles de combustibles fósiles, emisiones y distribución de consumo en Galápagos para el año 2018.

El balance energético de la provincia de Galápagos revela que el sector del transporte ejerce un impacto ambiental y energético significativo en las islas. De hecho, este sector representa el 73 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en la región. Además, destaca por tener el índice más elevado de consumo final de energía per cápita, con 8,8 barriles equivalentes de petróleo por habitante, como se muestra en la Figura 9. Estos datos subrayan la importancia crítica de abordar los desafíos ambientales y energéticos en el sector del transporte de las islas Galápagos para avanzar hacia un enfoque más sostenible y eficiente.

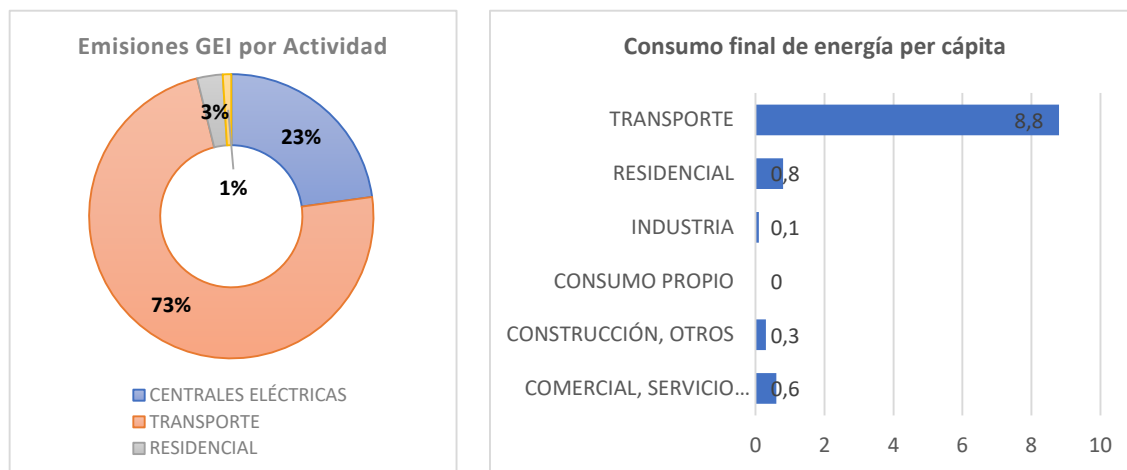


Figura 9. Detalle de emisiones GEI por actividad y representación de los índices de consumo final de energía per cápita, para el año 2018.

3.3. Estado de la electromovilidad

Dado que Galápagos es una región única con un ecosistema altamente frágil, donde el 97 % de su extensión total pertenece al Parque Nacional y solo el 3 % se considera área poblada, resulta de vital importancia emprender una transición energética. Este esfuerzo se centra en cumplir con los objetivos dirigidos hacia la preservación del medio ambiente y, aún más, hacia la conservación de su belleza natural.

En este contexto, se están evaluando propuestas energéticas basadas en recursos renovables con el propósito de reducir drásticamente la dependencia de combustibles fósiles en la generación de energía. Además, se busca fortalecer las infraestructuras de transmisión y distribución para fomentar el uso de tecnologías limpias en el transporte y la movilidad de los residentes y visitantes de las islas. Este enfoque tiene como objetivo la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte y, al mismo tiempo, mitigar los riesgos ambientales vinculados a su uso.

El Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos confirma que, efectivamente, el transporte marítimo, el transporte terrestre y la producción de energía son los principales consumidores de combustibles fósiles en las islas. Estos esfuerzos por reducir su dependencia de fuentes de energía no sostenibles son cruciales para la conservación a largo plazo de este frágil y excepcional ecosistema.

Varios estudios previos muestran una demanda energética que se deriva de análisis previos de [1] y [25] donde se considera que el 60 % de los residentes están relacionados con actividades turísticas y este sector representa casi un 80 % de la economía local. Como un referente de la situación a la que se enfrenta el archipiélago, consideremos los siguientes indicadores que están presentes en el documento final resultado del Proyecto Mecanismos y Redes de Transferencia de Tecnologías relacionadas con el Cambio Climático en América Latina y El Caribe (RG-72384) y se observa además la proyección realizada en dicho estudio hasta el 2040:

Atendiendo al Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos [1], en el que se indica que un transporte público colectivo basado en buses como en el resto del Ecuador continental, éste no existe; se cuenta tan solo con mínimas unidades escolares o institucionales, además de servicio de transporte turístico por el tema de la actividad principal que se desarrolla en las islas y los buses que conectan el Aeropuerto de Baltra con el Canal de Itabaca (empresa CITTEG).

Con estos datos, es evidente que el servicio de transporte público en las zonas rurales es muy deficiente, no cuenta con frecuencias ni horarios específicos por lo que no es fiable para la comunidad insular. Esta situación obliga a la utilización de taxis, transporte mixto y motocicletas, lo que incrementa el tránsito de vehículos en las vías que unen a las urbes con las zonas rurales, y los costos de movilización para los usuarios son muy elevados; también se identifica otros vehículos que se han adaptado para ofrecer transporte público masivo y son denominados “chivas”.

Al considerar todos los indicadores ya analizados, se aprecia como el sector de la energía debe considerarse de una manera integral, es decir tanto la generación eléctrica y la movilización deben ir avanzando a la par, esto debido a su interrelación, de ahí que se considera que hoy en día hay varias alternativas viables tanto técnica como económicamente hablando, y, en esos esfuerzos el archipiélago ha venido orientando su trabajo para disminuir el consumo de combustibles fósiles a través de la introducción de energías renovables y promoviendo la entrada de vehículos eléctricos y otros medios de transporte sostenibles como la bicicleta, a través de la construcción y adecuación de ciclovías.

En los términos y consideraciones legales se tiene, que para el uso de los vehículos eléctricos el Ecuador cuenta con un marco regulatorio que promueve la adquisición de este tipo de vehículos, mediante incentivos tributarios tales como la exención de aranceles, exención de IVA en casos específicos, reducciones en el Impuesto de Consumos Especiales (ICE) y descuentos en el Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular (IACV).

De igual manera, existen tarifas diferenciadas de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos y otros incentivos y obligaciones específicas para transporte público. Pero es importante mencionar que debido a que los combustibles fósiles cuentan con un alto valor de subsidio en el país, los vehículos eléctricos se enfrentan a una competitividad económica con sus equivalentes a gasolina o diésel.

A pesar de que el ingreso de los vehículos hacia las islas está controlado mediante la ejecución de ordenanzas tanto locales como provinciales, las cuales se establecen en el Régimen Jurídico Administrativo en lo que se refiere al ingreso permanente o temporal de vehículos y maquinarias. En 2016 se redujeron dichas restricciones, permitiendo el ingreso de motocicletas y automóviles, siempre y cuando sean eléctricos, y efectivamente el número de vehículos de este tipo aumentó hasta alcanzar un total de 183 vehículos eléctricos registrados en las islas de Santa Cruz y San Cristóbal a abril del 2019, representando un 7,1 % del parque automotor de la época, lo que ocasionó nuevos problemas de carácter técnicos y especialmente de abastecimiento de carga por parte de la red de energía eléctrica. De ahí que a comienzos de 2019 se decidió suspender la entrada de nuevos vehículos eléctricos en Santa Cruz hasta nueva orden, obligando a que ELECGALÁPAGOS, el Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos (CGREG), los GAD Municipales de Galápagos, la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y ELECGALÁPAGOS evaluarán bajo criterios técnicos como retomar el ingreso de vehículos eléctricos en la isla de manera gradual, para así evitar mayores afectaciones al sistema, brindando una mejor calidad de energía e ir cumpliendo con los objetivos planteados para disminuir las emisiones con la implementación e integración de las energías renovables en sus plantas de generación.

Tras analizar detenidamente los datos proporcionados por las entidades públicas, se han extraído diversas conclusiones de relevancia. A continuación, se presentan tales conclusiones,

tomando como referencia los 2.305 vehículos matriculados en la provincia de Galápagos en el año 2020, como se muestra en la Figura 10.

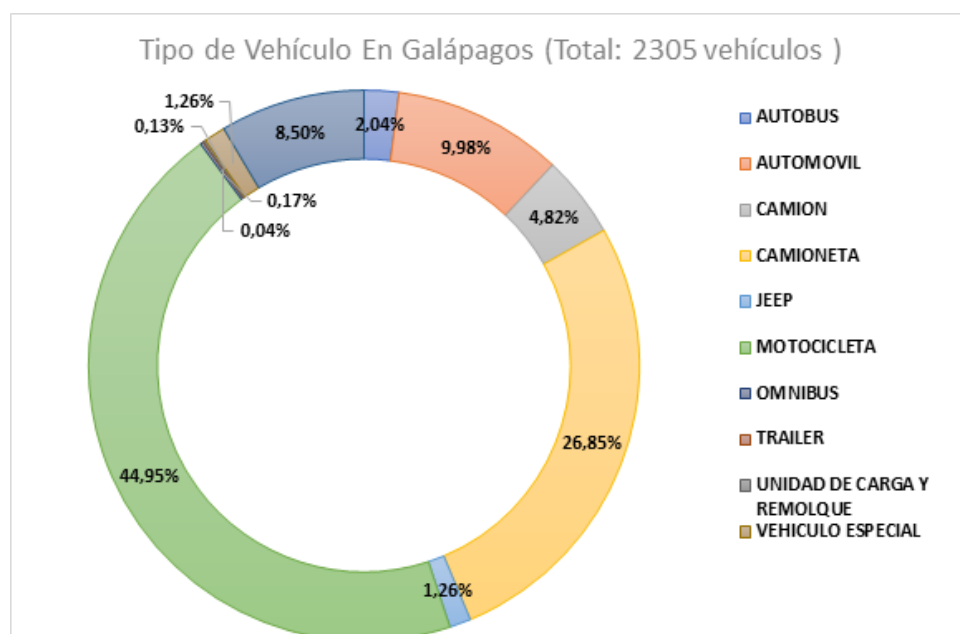


Figura 10. Segmentación del tipo de vehículos en Galápagos, según el registro de matriculación 2020.

La Tabla 5 presenta el detalle de la constitución del parque automotor dentro de las islas en función del tipo de combustible empleados por los vehículos, según el inventario de vehículos facilitado por la Agencia Nacional de Tránsito – ANT. En esta se refleja que, la isla de Santa Cruz ostenta la mayor concentración de vehículos de todos los tipos, con un total de 1334 unidades, mientras que San Cristóbal cuenta con 926 vehículos registrados, lo que representa aproximadamente el 98 % de la flota vehicular en toda la provincia. No obstante, es fundamental tener en cuenta que existe una cantidad indeterminada de vehículos no regularizados, principalmente pertenecientes al segmento de motocicletas. Esta situación plantea preocupaciones significativas tanto en términos de control como en lo que respecta al suministro de combustible, lo que podría arrojar luz sobre el consumo real de energía en caso de que se decida reemplazar estos medios de transporte.

Tabla 5. Detalle de vehículos por cantón registrado en el año 2020, según el tipo de combustible.

	Isabela	Santa Cruz	San Cristóbal	Total
Diésel	11	176	225	412
Eléctrico	1	14	55	70
Gasolina	32	730	1.051	1.813
Híbrido	-	6	3	9
Híbrido, gasolina, baterías	1	-	-	1
Total	45	926	1.334	2.305

Dada la densidad vehicular en cada isla, los esfuerzos para fomentar la adopción de vehículos eléctricos deberían priorizar Santa Cruz y San Cristóbal, con un enfoque particular en el segmento

de automóviles como el grupo objetivo. Esto implica la construcción de una infraestructura integral que incentive a diversos actores, especialmente en el transporte mixto y de pasajeros, a realizar la transición hacia esta tecnología. Es importante destacar que la colaboración de todas las instituciones públicas y cantones es esencial para promover el uso de vehículos 100 % eléctricos.

Si bien la conciencia ambiental se ve favorecida en todos los casos, la falta de apoyo en la adopción de esta tecnología ha generado desánimo entre los residentes, en particular en Santa Cruz. Se ha generado una percepción negativa debido a la introducción inadecuada de tecnología con vehículos compactos de baja autonomía (60 - 100 km), la falta de garantías y asistencia por parte de los importadores. Esto ha llevado a reclamos legales y cobertura mediática local.

En el caso de Isabela, la situación debe abordarse de manera diferente, ya que la movilización interna se basa en gran medida en bicicletas y caminar. Aquí, se debe buscar un modelo que permita la integración de la micro movilidad con vehículos eléctricos, garantizando la satisfacción de todos los usuarios. Es importante mencionar que en todas las islas se ha experimentado un aumento exponencial en el uso de scooters eléctricos, sin un registro o cuantificación precisa de su cantidad en cada isla. En algunos casos, los scooters han reemplazado a las motocicletas, aunque no han logrado desplazar completamente su uso. Un aspecto relevante es que en casi el 95 % de los casos, estos scooters son alimentados mediante baterías extraíbles, como se muestra en la Figura 11. Esto abre la posibilidad de diseñar una infraestructura para la recarga masiva en lugares estratégicos durante el día, evitando sobrecargar la red eléctrica durante las horas de máxima demanda.



Figura 11. Scooter eléctrico para 2 personas con batería extraíble en las calles de Santa Cruz.

Un sector que demanda un análisis exhaustivo en cuanto a su potencial migración hacia la movilidad eléctrica es el transporte interislas, especialmente las lanchas, debido al gran número de personas que se desplazan diariamente.

La transición del transporte marítimo entre islas hacia la movilidad eléctrica puede lograrse mediante la adopción de motores fuera de borda eléctricos para embarcaciones. La autonomía energética de tales embarcaciones para cubrir las distancias a recorrer entre islas puede ser garantizada mediante el uso combinado de baterías y de sistemas solares fotovoltaicos incorporados [23], [24]. En lo que respecta al abastecimiento energético de las embarcaciones, similar a la ubicación estratégica de electrolineras cerca de muelles en tierra firme, la instalación de puntos de carga eléctrica en áreas portuarias y cercanas a los muelles facilitaría una transición suave hacia la movilidad eléctrica marítima. La planificación cuidadosa de la infraestructura de carga, considerando las necesidades específicas del transporte marítimo entre islas, contribuiría a superar desafíos logísticos y acelerar la adopción de soluciones sostenibles en el sector [24].

La implementación exitosa de la movilidad eléctrica en las Islas Galápagos puede contribuir de manera significativa a su sostenibilidad a largo plazo, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París de varias maneras. Primero, al reducir la dependencia de combustibles fósiles, se disminuirían las emisiones de gases de efecto

invernadero, apoyando directamente el ODS 13 (Acción por el clima) y los compromisos del Acuerdo de París en este sentido. La movilidad eléctrica también se alinea con el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) al promover el uso de fuentes de energía sostenibles y renovables para cargar los vehículos eléctricos. Asimismo, al mejorar la eficiencia del transporte, contribuiría al ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), al reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en las islas.

Por último, la adopción de la electromovilidad podría generar oportunidades económicas locales, fomentando el desarrollo sostenible (ODS 8) y mejorando la calidad de vida de las comunidades. La planificación cuidadosa de la infraestructura de carga y la gestión de recursos naturales también respaldarían el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

4. CONCLUSIONES

El entorno controlado que caracteriza a las islas Galápagos brinda la oportunidad de recopilar datos con un nivel de precisión excepcional, lo que facilita la adopción de estrategias óptimas para la implementación de la movilidad eléctrica en estas islas.

En este estudio se ha identificado nichos específicos para la implementación eficaz de iniciativas hacia un modelo de transporte terrestre y marítimo más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. La colaboración estratégica con entidades gubernamentales y la recopilación de datos en el terreno fueron fundamentales para obtener información crucial. Conforme al Plan Galápagos 2020-2030, se destaca que, en los centros poblados, la movilidad no motorizada, representa un porcentaje significativo, alcanzando el 49,60 % en San Cristóbal, el 79,20 % en Santa Cruz y el 78,00 % en Isabela, donde la bicicleta es el medio de transporte más empleado.

El análisis del balance energético revela que el sector del transporte en 2018 fue el principal consumidor de combustibles, con notables emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), destacando el transporte marítimo como el mayor contribuyente. El transporte en las islas lideró el consumo de combustibles con 8.005.369 galones de Diesel y 4.036.228 galones de Gasolina, equivalente a 191,61 y 86,09 miles de Barriles Equivalentes de Petróleo (kBEP), respectivamente. De la información recabada, se estimó que las emisiones GEI del Diesel fueron de alrededor de 119,63 miles de toneladas equivalentes de CO₂ (kTeCO₂). El transporte marítimo, siendo responsable del 59 % del consumo de Diesel, destacó como el principal contribuyente a estas emisiones, con un estimado de 163,72 kBEP. De estos indicadores, se resalta la necesidad de un análisis exhaustivo para migrar hacia la movilidad eléctrica, especialmente en el transporte interislas, proponiendo la adopción de motores fuera de borda eléctricos para embarcaciones y la planificación estratégica de infraestructuras de carga.

Además, de este estudio se podría generar una guía estratégica para los tomadores de decisiones en los sectores público y privado de las islas Galápagos, permitiéndoles desarrollar políticas y proyectos específicos para abordar los desafíos medioambientales y económicos. La alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París fortalecerá la posición de las islas Galápagos a nivel nacional e internacional, fomentando un enfoque sostenible y ecológico para la conservación del entorno natural y la prosperidad económica a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS: El trabajo documentado en este artículo forma parte de las actividades ejecutadas en el proyecto titulado: “Movilidad eléctrica: retos, limitaciones y plan de implementación en el régimen especial de la provincia de Galápagos enfocada en el desarrollo sostenible y su factibilidad en la ciudad de Cuenca”, en el marco del II Concurso de Proyectos de Investigación – Vinculación, organizado por el Vicerrectorado de Investigación y la Dirección de Vinculación con la Sociedad de la Universidad de Cuenca, en el cual participan los autores. Los autores agradecen a la Universidad de Cuenca por facilitar el acceso a las instalaciones del

Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B), y a los ayudantes de investigación, ingenieros Juan Carlos Granda y Tania Duchi, cuya contribución ha hecho posible la recolección, sistematización y presentación de datos in-situ, necesarios para la realización y culminación de este trabajo. Finalmente, los autores expresan su gratitud con las siguientes instituciones públicas y privadas, pues, la información proporcionada por éstas ha sido vital para desarrollar la investigación que se documenta en este artículo: Empresa Eléctrica Provincial de Galápagos – ELECGALAPAGOS S.A., Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – MAATE, Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos – CGREG, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Cristóbal, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela, Agencia Nacional de Tránsito – ANT.

REFERENCIAS

- [1] CGREG, *Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos, Plan Galápagos 2030*. Puerto Baquerizo Moreno, Galápagos, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://unidosporgalapagos.com/2020/12/17/example-post/>
- [2] S. Zander *et al.*, "The Spatio-Temporal Cloud Frequency Distribution in the Galapagos Archipelago as Seen from MODIS Cloud Mask Data", *Atmosphere*, vol. 14, n.º 8, jul. 2023, doi: 10.3390/atmos14081225.
- [3] A. Moreira-Mendieta *et al.*, "Detection and quantification of microplastic pollution in the endangered Galapagos sea lion", *Sci. Total Environ.*, vol. 896, sep. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166223.
- [4] A. Muñoz Barriga, "La contradicción del turismo en la conservación y el desarrollo en Galápagos - Ecuador", *Estud. Perspect. En Tur.*, vol. 24, n.º 2, pp. 399-413, abr. 2015. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180738583011>
- [5] A. M. Grube, J. R. Stewart, y V. Ochoa-Herrera, "The challenge of achieving safely managed drinking water supply on San Cristobal island, Galápagos", *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 228, may. 2020, doi: 10.1016/j.ijheh.2020.113547.
- [6] M. Carrere, "Sin turismo no hay dinero: COVID-19 detiene el 60% de los ingresos de Galápagos". Accedido: 14 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2020/05/ecuador-turismo-en-galapagos-covid-19/>
- [7] F. I. Ormaza-González, D. Castro-Rodas, y P. J. Statham, "COVID-19 Impacts on Beaches and Coastal Water Pollution at Selected Sites in Ecuador, and Management Proposals Post-pandemic", *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, jul. 2021, doi: 10.3389/fmars.2021.669374.
- [8] V. Iñiguez-Morán, E. Villa-Ávila, D. Ochoa-Correa, C. Larco-Barros, y R. Sempertegui-Álvarez, "Study of the Energy Efficiency of an Urban E-Bike Charged with a Standalone Photovoltaic Solar Charging Station and its Compliance with the Ecuadorian Grid Code No. ARCERNR – 002/20", *Ingenius*, n.º 29, Art. n.º 29, ene. 2023, doi: 10.17163/ings.n29.2023.04.
- [9] D. A. Carrillo Rosero, E. P. Gavilanes González, R. A. Ríos García, y D. F. Carrillo Rosero, "La pandemia del Covid-19 y sus implicaciones en la actividad turística de la isla Santa Cruz en las Islas Galápagos", *Rev. Univ. Soc.*, vol. 15, n.º S1, pp. 476-484, abr. 2023.
- [10] Ministerio de Energía y Minas, "Balance Energético Nacional 2021", jun. 2022, Accedido: 14 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf

- [11] P. F. Kingston, D. Runciman, y J. McDougall, "Oil contamination of sedimentary shores of the Galápagos Islands following the wreck of the *Jessica*", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 47, n.º 7, pp. 303-312, jul. 2003, doi: 10.1016/S0025-326X(03)00159-0.
- [12] K. A. McKenzie, "Sun, wind and waves: Ev fossil fuel use and emissions on an isolated, oil-dependent Hawaiian Island", *World Electr. Veh. J.*, vol. 12, n.º 2, jun. 2021, doi: 10.3390/wevj12020087.
- [13] L. Rodgers *et al.*, "Designing an electric motorcycle for the Isle of Man TT Zero race, and how electric vehicle racing could be used to spur innovation", presentado en 26th Electric Vehicle Symposium 2012, EVS 2012, 2012, pp. 2862-2873.
- [14] R. Rabl, M. Reuter-Oppermann, y P. E. P. Jochem, "Charging infrastructure for electric vehicles in New Zealand", *Transp. Policy*, vol. 148, pp. 124-144, jan. 2024, doi: 10.1016/j.tranpol.2024.01.010.
- [15] K. J. Dillman, R. Fazeli, E. Shafiei, J. Ö. G. Jónsson, H. V. Haraldsson, y B. Davíðsdóttir, "Spatiotemporal analysis of the impact of electric vehicle integration on Reykjavik's electrical system at the city and distribution system level", *Util. Policy*, vol. 68, dec. 2021, doi: 10.1016/j.jup.2020.101145.
- [16] J. H. M. Langbroek, M. Cebecauer, J. Malmsten, J. P. Franklin, Y. O. Susilo, y P. Georén, "Electric vehicle rental and electric vehicle adoption", *Res. Transp. Econ.*, vol. 73, pp. 72-82, jun. 2019, doi: 10.1016/j.retrec.2019.02.002.
- [17] L. A. Paredes, "Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental", *Rev. Téc. Energ.*, vol. 16, n.º 1, ene. 2019, doi: 10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.340.
- [18] E. Villa-Ávila, P. Arévalo, D. Ochoa-Correa, V. Iñiguez-Morán, y F. Jurado, "Innovative Power Smoothing Technique for Enhancing Renewable Integration in Insular Power Systems Using Electric Vehicle Charging Stations", *Appl. Sci.*, vol. 14, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2024, doi: 10.3390/app14010375.
- [19] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, "Balance Energético Nacional 2018". Accedido: 17 de diciembre de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/03/Balance-Energe%CC%81tico-Nacional-2018.pdf>
- [20] A.-M. Vasile, "Transition to a Low-Carbon Economy and the Impact on the Urban Regeneration Process", presentado en Springer Proceedings in Business and Economics, 2023, pp. 157-175. doi: 10.1007/978-3-031-30996-0_12.
- [21] Naciones Unidas Ecuador, «Sustainable Development Goal 7: Energía asequible y no contaminante | Naciones Unidas en Ecuador». Accedido: 6 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ecuador.un.org/es/sdgs/7>
- [22] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*. Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf
- [23] F. R. G. Cruz, B. W. C. Garcia, R. C. M. Gania, J. C. R. Nob, y M. P. A. H. Bongon, "Solar-Assisted Electric Boat Power and Propulsion System Simulations", presentado en 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2021, 2021. doi: 10.1109/HNICEM54116.2021.9732023.

- [24] M. Moya, J. Martínez-Gómez, E. Urresta, y M. Cordovez-Dammer, «Feature Selection in Energy Consumption of Solar Catamaran INER 1 on Galapagos Island», *Energies*, vol. 15, n.º 8, abr. 2022, doi: 10.3390/en15082761.
- [25] F. Pizzitutti *et al.*, "Scenario planning for tourism management: a participatory and system dynamics model applied to the Galapagos Islands of Ecuador", *J. Sustain. Tour.*, vol. 25, n.º 8, pp. 1117-1137, ago. 2017, doi: 10.1080/09669582.2016.1257011.

