



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS, MODELADO Y SIMULACIÓN PARA
IMPLEMENTAR PROCESOS DE DESCARBONIZACIÓN A
LARGO PLAZO DE LAS ISLAS GALÁPAGOS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: DAVID ADRIAN INGA GARCÍA

DIRECTOR: DANIEL ORLANDO ICAZA ÁLVAREZ

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANÁLISIS, MODELADO Y SIMULACIÓN PARA IMPLEMENTAR
PROCESOS DE DESCARBONIZACIÓN A LARGO PLAZO DE LAS ISLAS
GALÁPAGOS

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: DAVID ADRIAN INGA GARCÍA

DIRECTOR: DANIEL ORLANDO ICAZA ÁLVAREZ

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

David Adrian Inga García portador de la cédula de ciudadanía N° 0107113946. Declaro ser el autor de la obra: "Análisis, modelado y simulación para implementar procesos de descarbonización a largo plazo de las islas Galápagos", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 28 de septiembre de 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read "David Inga", with a horizontal line drawn through it.

F:

David Adrian Inga García

0107113946

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por David Adrian Inga García, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink is positioned above a solid horizontal line. The signature is stylized and appears to be the initials 'D.O.I.' followed by a flourish.

Ing. Daniel Orlando Icaza Álvarez, Mgs.

DIRECTOR

Dedicatoria

Este trabajo de titulación es dedicado a ustedes, queridos abuelito y abuelita, papá y mamá, y amada hermana. Su incondicional apoyo y valiosa sabiduría han guiado mis pasos a lo largo de este emocionante viaje académico, permitiéndome vivir este momento tan significativo.

Esta dedicación representa un ínfimo gesto de eterna gratitud por su presencia en mi vida. Son parte integral de este logro académico.

Con cariño y agradecimiento,

David Adrian Inga García.

Agradecimientos

Considero vital expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, quien supo destruirme de tal forma que la única salida fue construir una versión mejorada respecto a mí. Queridos abuelito y abuelita, agradezco eternamente su amor inigualable, sus cuidados y su sabiduría con la que me arroparon desde pequeño. Papá y mamá, gracias por invertir en mi educación y creer en mí desde el instante uno de mi insipiente vida. Amada hermana, infinita gratitud hacia ti, pues, eres tú mi mayor impulso e inspiración para lograr aquellos sueños que plantamos desde niños.

Agradezco a la Universidad Católica de Cuenca, quienes supieron abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos: Gracias profesores; tenía diferentes maneras de llegar a mi destino, pero ustedes, supieron enseñarme el camino correcto.

A mi director de tesis, ingeniero Daniel Icaza Álvarez, sin su experta guía, paciencia y apoyo incondicional este trabajo de titulación no hubiese sido efectuado. Su conocimiento y experiencia enriquecieron mi proceso formativo y académico magistralmente.

A todos ustedes, mi eterna gratitud por formar parte de este logro. Sus contribuciones, consejos y apoyo han sido invaluable en mi camino.

RESUMEN

El enfoque de este trabajo de titulación radica en la descarbonización de las Islas Galápagos, un frágil ecosistema caracterizado por su excepcional valor amenazado por el cambio climático y una marcada dependencia de combustibles fósiles. El objetivo trazado pretende desarrollar un análisis destinado a reducir drásticamente las emisiones de gases contaminantes mediante la promoción y correspondiente adopción de energías de carácter renovable, sistemas dotados de eficiencia energética y medios de transportes responsables y sostenibles. Para ello, se desarrollan estrategias efectivas, producto de un previo modelado y simulaciones en diferentes escenarios; adaptables a las características únicas de las Islas Galápagos; y, sujetas a factores técnicos y ambientales. El desarrollo de esta investigación otorga un aporte relevante enfocado en la descarbonización del archipiélago de Colón; y, apunta a proteger este frágil tesoro ecológico a través de un desarrollo responsable.

Palabras clave: descarbonización, Islas Galápagos, energías renovables, eficiencia energética, transporte sostenible

ABSTRACT

This degree work focuses on the decarbonization of the Galapagos Islands, a fragile ecosystem characterized by its exceptional value, threatened by climate change, and a marked dependence on fossil fuels. This study aims to develop an analysis concerning polluting gas emissions reduction through promoting and adopting renewable energies, energy-efficient systems, and responsible and sustainable means of transportation. To this end, effective strategies are developed based on previous modeling and simulations in different scenarios, adaptable to the unique characteristics of the Galapagos Islands and depending on technical and environmental factors. The development of this investigation provides a relevant contribution focused on the Columbus decarbonization archipelago to protect this fragile ecological treasure via responsible actions.

Keywords: decarbonization, Galapagos Islands, renewable energies, energy efficiency, sustainable transportation

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE ANEXOS	XIII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto y antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Justificación	3
1.5. Alcance y limitaciones	4
1.6. Metodología	4
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	6
2. Análisis del estado del arte	6
2.1. Disponibilidad de recursos renovables en áreas específicas	8
2.2. Vehículos eléctricos y su incidencia en la sociedad	9
2.3. Proyecto fotovoltaico “Conolophus”	10
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO	13
3.1. Descarbonización y su importancia	13
3.2. Energías renovables: concepto y aplicaciones	15
3.3. Eficiencia energética: fundamentos y beneficios	17
3.4. Transporte sostenible: enfoques y perspectivas	18
3.5. Sostenibilidad y conservación en América Latina y El Caribe; y, las Islas Galápagos	20
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y PLAN DE DESCARBONIZACIÓN	33
4.1. Año base	33
4.2. Análisis del consumo energético y emisiones de carbono en las Islas Galápagos	40

4.3. Modelado y simulaciones: Evaluación de escenarios de descarbonización	47
4.4. Plan de descarbonización para las Islas Galápagos	61
4.4.1. Líneas de acción estratégica	61
4.4.1.1. Digitalización y modernización del sistema de distribución	62
4.4.1.2. Generación distribuida y almacenamiento de la energía	67
4.4.1.3. Optimización de la demanda	68
4.4.1.4. Medidas en el sector transporte.....	73
4.4.1.4.1. Transporte terrestre	73
4.4.1.4.2. Transporte marítimo	75
4.4.1.4.3. Emisiones	75
4.4.1.5. Movilidad eléctrica.....	77
4.4.1.6. Medidas en el transporte marítimo	78
4.4.1.7. EnergyPLAN.....	79
4.4.1.8. Descarbonización: Emisiones de CO ₂ y consumo de combustibles.....	88
4.5. Evaluación de factibilidad y viabilidad de estrategias propuestas	93
4.6. Análisis de sensibilidad.....	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXOS.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proyecto Conolophus: Ubicación.....	12
Figura 2. Proyecto fotovoltaico y su integración con el sistema eléctrico existente	14
Figura 3. Proceso de descarbonización.....	15
Figura 4. Extracción de combustibles fósiles (1965 - 2040).....	16
Figura 5. Emisiones proyectadas correspondientes al sector de generación eléctrica	19
Figura 6. Proyección de emisiones de carbono derivadas del sector de transporte	21
Figura 7. Hundimiento del buque Jessica	22
Figura 8. Combustibles empleados por sistemas de transporte en ALC	23
Figura 9. Evolución de la capacidad eólica y solar fotovoltaica instalada en ALC	24
Figura 10. Demanda energética proyectada bajo una descarbonización acoplada	25
Figura 11. Emisiones de CO_2 en el mundo y en Ecuador.....	28
Figura 12. Disposición política de las Islas Galápagos	29
Figura 13. Abastecimiento de las Islas Galápagos.....	30
Figura 14. Paneles fotovoltaicos y generadores eólicos	32
Figura 15. ECOGAL.....	32
Figura 16. Emisiones de carbono generadas por ECOGAL.....	34
Figura 17. Distribución de porcentajes de emisiones de contaminantes primarios	35
Figura 18. Distribución de porcentajes de emisiones de gases de efecto invernadero.....	36
Figura 19. Emisiones de carbono anuales hasta 2020 en las Islas Galápagos	37
Figura 20. Emisiones de dióxido de nitrógeno a gran escala.....	38
Figura 21. Emisiones de dióxido de nitrógeno en Ecuador	38
Figura 22. Emisiones de dióxido de nitrógeno en las Islas Galápagos.....	39
Figura 23. Mix energético correspondiente a las Islas Galápagos: Año base	41
Figura 24. Mix energético proyectado hacia 2040	42
Figura 25. Matriz energética correspondiente a las Islas Galápagos	44
Figura 26. Costo promedio por consumo entre sectores	45
Figura 27. Demanda de energía eléctrica y número de usuarios	46
Figura 28. Acceso existente y proyectado a los servicios eléctricos en Galápagos.....	47
Figura 29. Consumo energético mensual aproximado	48
Figura 30. Emisiones de carbono.....	48
Figura 31. Causales para proyectar emisiones de carbono	50
Figura 32. Mapa de centrales eléctricas e instalaciones de baterías en las Islas Galápagos	52
Figura 33. Potencial de energía fotovoltaica en las Islas Galápagos.....	53
Figura 34. Potencial de energía eólica en las Islas Galápagos.....	54
Figura 35. Explotación proyectada de combustibles fósiles.....	57

Figura 36. Crecimiento poblacional y demanda energética proyectados	58
Figura 37. Índice de carbonización proyectado	59
Figura 38. EnergyPLAN (versión: 16.21)	60
Figura 39. Proyección de potencia instalada en las Islas Galápagos por fuente de energía	61
Figura 40. Crecimiento poblacional y demanda energética proyectados	62
Figura 41. Índice de carbonización proyectado	63
Figura 42. Hoja de ruta propuesta.....	64
Figura 43. Demanda y oferta de la red eléctrica.....	65
Figura 44. Medidores inteligentes	66
Figura 45. Etiquetado de eficiencia energética	66
Figura 46. Comunicaciones operativas entre islas	67
Figura 47. Automatización de la operación en las Islas Galápagos.....	68
Figura 48. Generación distribuida: Matriz energética de producción de energía	69
Figura 49. Generación distribuida: Capacidad instalada	70
Figura 50. Consumo residencial: Urbano y rural	73
Figura 51. Consumo residencial por tipo de consumo y temperatura media.....	73
Figura 52. Diseño de edificación sostenible para implementar en las Islas Galápagos	74
Figura 53. Vehículos de pasajeros por isla	76
Figura 54. Transporte de carga por isla	76
Figura 55. Transporte interislas.....	77
Figura 56. Emisiones internas de carbono	78
Figura 57. Emisiones del transporte aéreo	78
Figura 58. Emisiones del transporte marítimo	79
Figura 59. Medidas a implementar en el transporte marítimo a corto plazo	80
Figura 60. Medidas a implementar en el transporte marítimo a largo plazo	81
Figura 61. Definición de demanda de electricidad.....	82
Figura 62. Valores promedio mensuales	82
Figura 63. Planilla considerada para las Islas Galápagos.....	83
Figura 64. Implementación de sistemas energéticos	84
Figura 65. Resultados proyectados para una planta eólica, convencional y gases	85
Figura 66. Parámetros para calefacción	86
Figura 67. Parámetros para aceite destinado a calefacción	86
Figura 68. Valores proyectados para calefacción.....	87
Figura 69. Valores para industria y otros consumos de combustible.....	87
Figura 70. Calor y potencia combinados.....	88
Figura 71. Valores proyectados para combustible industrial, calor y electricidad	88

Figura 72. Valores de combustibles fósiles para sistemas de transporte	89
Figura 73. Valores de diseño obtenidos.....	89
Figura 74. Valores proyectados obtenidos	90
Figura 75. Emisiones anuales de carbono.....	91
Figura 76. Combustible anual de combustible diésel	92
Figura 77. Área hipotética para implementación de módulos fotovoltaicos	95
Figura 78. Prototipos correspondientes a aerogeneradores sin aspas.....	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Combustibles empleados por sistemas de transporte	22
Tabla 2. Normas relacionadas a cambio climático en Ecuador	26
Tabla 3. Toneladas exactas de CO_2 por viaje.....	30
Tabla 4. Emisiones de carbono en el aeropuerto ecológico de las Islas Galápagos	33
Tabla 5. Plantas de generación eléctricas en las Islas Galápagos	39
Tabla 6. Plantas de generación y su capacidad en las Islas Galápagos	40
Tabla 7. Energía disponible en el sistema de distribución de las Islas Galápagos.....	41
Tabla 8. Capacidad instalada en las Islas Galápagos	43
Tabla 9. Infraestructura del sistema de distribución de las Islas Galápagos.....	46
Tabla 10. Escenarios proyectados en las Islas Galápagos	56
Tabla 11. Inversión en infraestructura proyectada	64
Tabla 12. Optimización de la demanda	70
Tabla 13. Resultados promedio anuales esperados.....	71
Tabla 14. Resultados proyectados tras implementar edificaciones sostenibles	72
Tabla 15. Efectos de descomposición del consumo de transporte terrestre.....	75
Tabla 16. Resultados anuales promedio proyectados	79
Tabla 17. Implementación de bicicletas en San Cristóbal y Santa Cruz	80
Tabla 18. Resultados obtenidos	84
Tabla 19. Resultados obtenidos	86
Tabla 20. Resultados obtenidos	88
Tabla 21. Resultados obtenidos	89
Tabla 22. Emisiones anuales de carbono en las Islas Galápagos hacia 2040	90
Tabla 23. Consumo de combustible diésel (galones por año).....	91
Tabla 24. Comparación entre escenarios.....	93
Tabla 25. Factibilidad de módulos fotovoltaicos.....	96

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Potencial de energía fotovoltaica (Ecuador).....	107
Anexo 2. Potencial de energía eólica (Ecuador).....	108
Anexo 3. Un paso más: Mix energético correspondiente a las Islas Galápagos hacia 2050 ...	109
Anexo 4. Autorización de publicación en el repositorio institucional	110

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Inmersos en el contexto social contemporáneo, la preservación de los ecosistemas y la búsqueda de alternativas sostenibles son aspectos imperativos ineludibles. Ante ello, la descarbonización constituye una meta de vital trascendencia destinada a afrontar las consecuencias derivadas del cambio climático. El trabajo de titulación desarrollado en líneas posteriores aborda una investigación de suma importancia: La descarbonización de las Islas Galápagos; un santuario ecológico natural de invaluable cuantía científica amenazado por la intensificación del cambio climático, el creciente impacto de la huella humana y la imperante necesidad de implementar procesos de transición que emigren hacia prácticas energéticas más sostenibles.

El objetivo apremiante de este estudio, consiste en desarrollar un análisis de descarbonización, caracterizado por acciones que permitan mitigar la emisión de gases y reducir el impacto ambiental derivado del actuar humano, dotando prácticas sostenibles a la región insular de Galápagos. Para volver tangible dicho propósito, abordaremos tres aspectos fundamentales: Análisis detallado del consumo de energía eléctrica y emisiones de carbono en la región; modelado y simulaciones en softwares adecuados para evaluar escenarios de descarbonización; y, el diseño de estrategias sostenibles basadas en energías renovables, eficiencia energética y transporte responsable.

Es necesario aclarar que, los datos previamente recopilados permitirán obtener una visión clara de la situación energética actual en la región. Adicionalmente, resulta imperante emplear herramientas de modelado y simulaciones en software para evaluar diferentes escenarios de descarbonización. Lo anterior mencionado permitirá identificar soluciones viables enfocadas en la reducción y mitigación de gases en la región.

Dichas soluciones, potencialmente, guardan la capacidad de generar un impacto significativo en la conservación de la región e instaurar un ejemplo ampliamente útil para otras regiones con desafíos análogos. La descarbonización de las Islas Galápagos constituye un accionar imperante para garantizar un futuro sostenible y eficiente en este ecosistema único. Con este trabajo de titulación, aspiramos a contribuir al bienestar de la humanidad, promoviendo soluciones innovadoras y responsables que se alineen con la conservación de este tesoro natural y su invaluable riqueza biológica.

1.1. Contexto y antecedentes

El archipiélago de las Islas Galápagos se halla situado en el corazón del Pacífico a 1000 kilómetros de Ecuador continental. Dicha región es un ecosistema excepcionalmente frágil y valioso, caracterizado por su biodiversidad e importancia científica. No obstante, enfrenta desafíos de suma criticidad asociados al cambio climático e histórica dependencia de combustibles fósiles para el desarrollo de fuentes de energía y su estructura económica.

Su aislamiento geográfico ha representado una bendición, pues ha preservado especies animales y vegetales únicas; pero, en contraparte, conlleva una limitada disponibilidad de recursos naturales y energéticos. Históricamente, sus habitantes y su creciente industria turística para satisfacer sus necesidades de carácter energético y económico han dependido a gran escala de la importación de combustibles fósiles. La dependencia mencionada, ha generado un significativo impacto en el ecosistema insular en análisis, puesto que, la incineración de combustibles fósiles implica un evidente incremento de emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera, provocando efectos adversos en medio ambiente local.

Ante ello, surge la necesidad de fomentar prácticas para preservar su biodiversidad; y, con ello, el creciente interés en la descarbonización, evidenciado en procesos de transición hacia fuentes de energías renovables, implementación de sistemas de eficiencia energética y medios de transporte eco amigables.

En el contexto contemporáneo, diversos actores gubernamentales, regímenes científicos, grupos ambientales y su población local promueven en forma activa la descarbonización de las Islas Galápagos. Para tal efecto, se han desarrollado estudios y análisis para evaluar características técnicas, económicas y sociales para implementar tecnologías limpias y elaborar estrategias de descarbonización integrales y adaptables la región en discusión; fomentando una sociedad sostenible dotada de conciencia energética.

1.2. Planteamiento del problema

La actual dependencia de sistemas de generación eléctrica, cuyo principio de funcionamiento radica en la empleabilidad de combustibles fósiles, representa una inminente amenaza para la conservación de ecosistemas frágiles y únicos, en específico, el archipiélago de Colón.

El caso en estudio analiza estrategias para descarbonizar las Islas Galápagos, a través de la mitigación y / o reducción de la emisión de gases contaminantes derivados del consumo de combustibles fósiles. Los procesos de generación eléctrica y los sistemas de transporte terrestre

y marítimo representan un riesgo significativo para la fragilidad del ecosistema en análisis; por ello, deben transitar hacia modelos caracterizados por índices energéticos altamente eficientes, considerando los diversos ecosistemas y asentamientos humanos presentes en cada área.

La carencia de medidas apremiantes, urgentes y efectivas para reemplazar la matriz energética en la región analizada en el contexto actual y posterior, desembocarán en una problemática de crítica gravedad. En consecuencia, resulta imperativo y viable desarrollar soluciones estratégicas y sostenibles, capaces de transitar hacia un modelo energético renovable y respetuoso con el ambiente, salvaguardando su integridad, fragilidad y belleza única.

1.3. Objetivos

Objetivo General:

Desarrollar un estudio integral de descarbonización para la región insular de Galápagos, a través de análisis, modelado y simulaciones destinadas a reducir de forma significativa la emisión de gases contaminantes y transitar hacia un sistema energético y de transporte sostenible y eficiente, capaz de garantizar, salvaguardar y proteger la integridad del archipiélago de Colón, un Patrimonio Natural de la Humanidad.

Objetivos Específicos:

Analizar los índices actuales de consumo de energía eléctrica y emisiones de carbono en las Islas Galápagos, e identificar las fuentes de mayor impacto ambiental establecidas en la región en análisis.

Modelar y simular estrategias de descarbonización caracterizadas por sistemas de energías renovables, eficiencia energética y transporte sostenible, afines a factores técnicos, sociales, económicos y ambientales.

Evaluar el índice de factibilidad y viabilidad de las soluciones propuestas para desarrollar un plan integral, efectivo y sostenible de descarbonización en la Islas Galápagos.

1.4. Justificación

La justificación de esta investigación radica en la urgente necesidad de implementar procesos de descarbonización en la región insular de Galápagos, cuya finalidad pretende garantizar un futuro viable que preserve su frágil biodiversidad, minimizando los riesgos derivados del incremento de la temperatura global, la acidificación de los océanos y el aumento del nivel mar que amenazan la supervivencia y estabilidad de los ecosistemas únicos de las islas; y,

adicionalmente, persigue reducir la histórica dependencia de los combustibles fósiles para los procesos de generación eléctrica e industria turística.

El desarrollo de estrategias efectivas e innovadoras, posibilita la cimentación de bases para una transición exitosa hacia un futuro descarbonizado en el archipiélago de Colón; y, en términos amplios, a nivel global. La factibilidad de su descarbonización, radica en su tamaño y aislamiento geográfico, factores que posibilitan implementar soluciones específicas y adaptadas a las necesidades de dicha región insular. Las fuentes de energía solar y eólica, junto con la implementación de prácticas y sistemas sostenibles de transporte ofrecen oportunidades tangibles para descarbonizar las Islas Galápagos.

1.5. Alcance y limitaciones

La descarbonización de las Islas Galápagos posee un alcance significativo, pues aborda los desafíos ambientales, técnicos y sociales asociados a la variación climática y su dependencia de combustibles fósiles. Para su efecto, es necesario fomentar la adopción de energías eficientes y limpias y promocionar el empleo de sistemas de transporte sostenibles. El alcance de este trabajo de titulación recopilará y analizará datos inherentes a índices de consumo energético, procesos de extracción de combustibles fósiles y emisión de carbono en la región en estudio para adquirir un punto de vista claro y objetivo de la situación actual y proyectar, a través de modelados y simulaciones, futuros escenarios de descarbonización.

Adicionalmente, resulta vital reconocer las limitaciones de este trabajo de titulación. La disponibilidad y calidad de los datos recolectados podrían no hallarse actualizados. Sin embargo, la investigación desarrollada en líneas posteriores establece un paso en la dirección acertada, puesto que, proporciona una sólida base para escenarios futuros respecto a la descarbonización de las Islas Galápagos.

1.6. Metodología

1. Análisis y estudio de índices de consumo energético y emisiones de carbono en las Islas Galápagos: Los datos recopilados serán obtenidos a partir de registros oficiales, informes gubernamentales y datos proporcionados por entidades pertinentes.
2. Etapa de modelado y simulaciones: Para elaborar estrategias viables de descarbonización, serán utilizados softwares adecuados destinados a crear modelos matemáticos y efectuar simulaciones capaces de evaluar el impacto de diversos escenarios, sujetos a indicadores correspondiente al potencial de generación de energías renovables y proyecciones de demanda energética futura.

3. Evaluación de factibilidad y viabilidad: Los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales para cada estrategia de descarbonización serán analizados; y, se evaluará su potencial impacto sobre la comunidad local, la biodiversidad y la industria turística.

La metodología empleada permitirá determinar estrategias sólidas y adaptables a las necesidades de la región para descarbonizar la región insular de Galápagos. De esta manera, pretendemos contribuir significativamente a la preservación de este ecosistema único, mediante la promoción de sostenibilidad y eficiencia energética.

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

El estado del arte refleja una amplia gama de investigaciones globales enfocadas en descarbonizar sistemas aislados. (Estanqueiro, 2020) analiza el archipiélago de Azores (océano Atlántico, oeste de Lisboa) y propone una planificación destinada a expandir su sistema eléctrico, estableciendo sistemas submarinos de corriente continua interconectados entre islas y ampliando el empleo de energías renovables; sin disparar los costos correspondientes a inversión y operación. Este modelo, evalúa el sistema eléctrico existente en dicha región y proyecta su demanda de energía eléctrica.

Bajo esta línea, (Hans Christian Gils, 2017) en su artículo señala que, las Islas Canarias poseen un gigantesco potencial de energía renovable suficiente para satisfacer la totalidad de la demanda de los sistemas de transporte, dispositivos de calefacción y cargas eléctricas en general en esta región. Concluye que, interconectar las islas a través de conductores submarinos reduciría los costos de inversión hasta un 15%.

El análisis efectuado en (TRÓNDHEIM, NICLASSEN, NIELSEN, DA SILVA, & BAK, 2021), a través de procesos de optimización económica empleando el software “*Balmorel*”, plantea insertar un sistema totalmente renovable en las Islas Feroe hacia 2030. Este estudio desarrolla un plan realista de expansión de fuentes de energía renovable sujeto a marcos políticos y sus limitaciones; modelos de sistemas de energía existentes; fuentes de inversión; y, evaluación de cuan óptimos son los resultados obtenidos en términos económicos y de producción. Para satisfacer la demanda de energía eléctrica, el modelo en cuestión, secciona las Islas Feroe en siete regiones; y, clasifica los perfiles de demanda energética en: normal, sistemas de transporte, procesos de calefacción.

A escala nacional, (Icaza, Jurado, Galindo, Córdova & Portoviejo, 2020) analizan los factores asociados a la producción eléctrica suministrada por el proyecto eólico Huascachaca. Su implementación y ubicación bastarían para satisfacer las necesidades energéticas originadas en el sur de la nación ecuatoriana. Su instalación garantiza el suministro eléctrico en forma constante y su introducción en el Sistema Nacional Interconectado (SNI). Esto diversifica la matriz energética existente.

Paralelamente, (Sumba, 2022), tras evaluar el incremento anual (1.9% - 3.4%) correspondiente a consumo de combustibles fósiles generado por el parque automotor, teoriza la

implementación de electrolineras sustentadas en generación fotovoltaica en zonas turísticas. Este análisis persigue mitigar los efectos climáticos experimentados en el contexto actual. Para ello, simula y modela el potencial solar existente en regiones diversas.

En términos similares, (Macas, 2022) optimiza el suministro eléctrico existente en el centro médico comunitario situado en Punta Hacienda, Quingeo (Cuenca - Ecuador). El sistema eléctrico convencional fue sustituido por módulos fotovoltaicos para cubrir con éxito la demanda energética existente. Destaca el empleo de DiaLux, un software especializado para determinar niveles óptimos de iluminación en diferentes ambientes.

(Bernal, 2021) diseña un sistema sustentado en módulos fotovoltaicos para los puntos de iluminación correspondiente a la fachada de la iglesia situada en Turi (Cuenca). La autonomía característica de un sistema de iluminación fotovoltaica desempeña un rol significativo en términos asociados a tiempo. Resulta prioritario sustituir toda aquella tecnología de iluminación obsoleta caracterizada por su ineficiencia energética, elevado consumo eléctrico; y, fallas simétricas y asimétricas en su proyección de luz. Ante ello, la iluminación sustentada en tecnología LED, constituye un eficiente sistema para reducir consumos innecesarios y potenciar umbrales de proyección simétricos y / o asimétricos.

Bajo esta línea de conceptos inherentes a energía solar, en la edificación correspondiente a la capilla de Macas Alto (Quingeo, Cuenca, Ecuador) se implementó un sistema fotovoltaico para cubrir sus necesidades energéticas (Urgilés, 2019).

Ahora, los procesos destinados a descarbonizar las Islas Galápagos abarcan, también, un extenso conjunto de investigaciones, estrategias y avances para minimizar el índice de carbonización existente en la región. Este espectro de investigaciones y acciones hallan cimientos en: Transformar su matriz energética, implementar sistemas de transporte sustentables y diseñar prácticas de desarrollo sostenible.

Lo anterior mencionado es traducido en disminuir la dependencia de combustibles fósiles y adoptar fuentes renovables de energía a gran escala. En este sentido, diversos análisis han evaluado el potencial solar y eólico característico de la región insular de Galápagos. La radiación solar, los patrones de viento y la infraestructura necesaria para su implementación han resultado inmensamente viables. La literatura técnica y científica han evaluado también, la introducción de baterías y sistemas de almacenamiento para garantizar un continuo suministro de electricidad en periodos de intermitencia solar y / o eólica.

Los estudios efectuados en este archipiélago denotan una creciente integración de dispositivos inteligentes y sistemas de gestión energética encaminadas a optimizar el consumo de energía y los procesos de producción eléctrica.

(Paúl Arévalo, 2022) estudia cuan viable resulta satisfacer las necesidades energéticas de las islas San Cristóbal y Santa Cruz haciendo uso de fuentes de energía renovable hacia 2050. Para predecir la demanda futura de energía eléctrica proveniente de esta región emplea redes neuronales ejecutadas en el software “*Matlab*”. Adicionalmente, a través de “*EnerPLAN*”, analiza la interconexión entre estas islas y su factibilidad.

Bajo este contexto, (R. Barreto, 2018), inmerso en el despacho económico derivado de la generación eólica y térmica, genera un algoritmo para sistemas aislados en la isla San Cristóbal e inserta, en términos teóricos, vehículos eléctricos dotados de procesos de carga inteligentes en horas de demanda significativa. Dicha inserción de sistemas de transporte eléctricos reduce los costos asociados a los procesos de generación energética. Este algoritmo analiza parámetros operativos correspondientes a un sistema de energía eléctrica: potencia activa y reactiva, aleatoriedad de las corrientes de viento, índices de voltaje y porcentaje de demanda de electricidad.

(Icaza, Jurado, Tostado, Arévalo, 2022) trazan un escenario renovable en su totalidad para las Islas Galápagos hacia 2050. La descarbonización de este archipiélago, caracterizado por su potencial energético renovable, generará un impacto positivo en términos ambientales, sociales y económicos. Su matriz eléctrica y su diversificación, no afectará su condición correspondiente a Patrimonio Cultural de la Humanidad.

2.1. Disponibilidad de recursos renovables en áreas específicas

Diversas naciones atraviesan marcadas crisis energéticas y persiguen buscar e implementar soluciones. Pakistán pretende reemplazar su matriz energética; y, transitar hacia modelos de energías renovables (Ying Wang, 2019).

La Unión Europea y Estados Unidos, conscientes del cambio climático derivado de la concentración existente de carbono, han determinado herramientas destinadas a evaluar la disponibilidad de los recursos energéticos para minimizar esta problemática. Estas herramientas son enlistadas a continuación: NASA SSE6 (NASA, 2022); ESRA (ESRA, 2022); Meteonorm (Meteotest, 2022); PVGIS (Marcel Šúri, 2012); Satel – Light (University of Bergen, 1998)

Los análisis desarrollados auguran un exponencial crecimiento de sistemas fotovoltaicos en la siguiente década. No obstante, solamente un profundo y detallado conocimiento de la energía solar establecería cuan exitoso resultaría su integración en los sistemas de generación existentes. Para ello, los modelos de radiación solar analizados hallan base en: PVGIS (Marcel Šúri, 2012); Solar Analyst (Fu y Rich, 2000); y, SolarFlux (Dubayah y Rich, 1995). PVGIS, nace ante las restricciones correspondientes a aplicabilidad a gran escala, puesto que, permite almacenar los datos recolectados en una base web.

Ahora, para analizar la disponibilidad de recursos eólicos, existen modelos estadísticos y técnicas de interpolación. Sin embargo, para determinar la velocidad de viento característica correspondiente a una región específica, es necesario emplear métodos altamente precisos: Técnicas de modelado de flujo de viento (Athanasios Angelis – Dimakis, 2011). Adicionalmente, existen fuentes de datos climáticos que permiten simular, en diferentes rangos temporales, la producción de energía renovable -en específico, energía eólica-: MERRA (NASA, 2017); y, MERRA – 2 (NASA, 2019).

Global Wind Atlas (WAsP, 2022) recopila datos inherentes a velocidades de viento de diferentes estaciones meteorológicas; y, a través de herramientas de aproximación y corrección, son almacenados en matrices que exponen un valor representativo de un área en estudio.

Bajo el umbral eólico, (Icaza, Jurado, & Galindo, 2020) identifican los factores asociados a la implementación de un sistema de suministro eléctrico para la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (CENTROSUR, Ecuador). La edificación perteneciente a esta entidad ha implementado paneles fotovoltaicos en su cubierta para minimizar los consumos energéticos asociados a la red convencional. Su objetivo persigue implementar fuentes renovables de energía para establecer modelos de transición hacia matrices diversificadas; y, reducir las emisiones de carbono en su entorno inmediato.

2.2. Vehículos eléctricos y su incidencia en la sociedad

La inserción de sistemas de movilidad eléctricos reduce notablemente el índice de carbonización de una región específica. A pesar de ello, los dispositivos para cargar vehículos eléctricos nivel 2 (7.2 kW) en instalaciones residenciales representan una demanda extra a contemplar para las redes de distribución. Bajo este marco, es competente afirmar que los cargadores no lineales resultan adimensionales y dificultan un adecuado dimensionamiento de redes (Torres, 2022).

A escala planetaria, la demanda eléctrica afín a movilidad y transporte asciende a 26% del consumo eléctrico total. Es decir, los vehículos aportan 23% de emisiones de contaminantes globalmente. Los sistemas de propulsión y movilidad deben ser sustituidos por medidas alternativas altamente eficientes sin comprometer la cobertura de las necesidades de transporte; y, capaces de minimizar las emisiones y reducir la dependencia existente hacia combustibles fósiles (Lojano, Flores, Cobos, Icaza, 2023). El parque automotor crece en vehículos eléctricos, puesto que, representa una marcada tendencia de desarrollo de tecnologías sostenibles. Este incremento genera cierta incertidumbre en los índices de demanda energética en redes de distribución en baja tensión. No obstante, para reducir el surgimiento de variaciones de voltaje, resulta necesario analizar y determinar aquellos horarios óptimos para efectuar los procesos de carga de dichos sistemas de transporte.

2.3. Proyecto fotovoltaico “Conolophus”

El proyecto Conolophus (suroccidente de la isla Baltra), persigue reducir el masivo empleo de combustibles fósiles para la generación eléctrica en las Islas Galápagos. Conolophus halla base en la generación fotovoltaica con almacenamiento; y, plantea un índice de producción energética de 14.8 MW, dotada por baterías de 40.9 MWh en Santa Cruz y Baltra. Su puesta en operación significaría una reducción anual de 16400 toneladas de carbono en esta zona de alta sensibilidad ambiental.

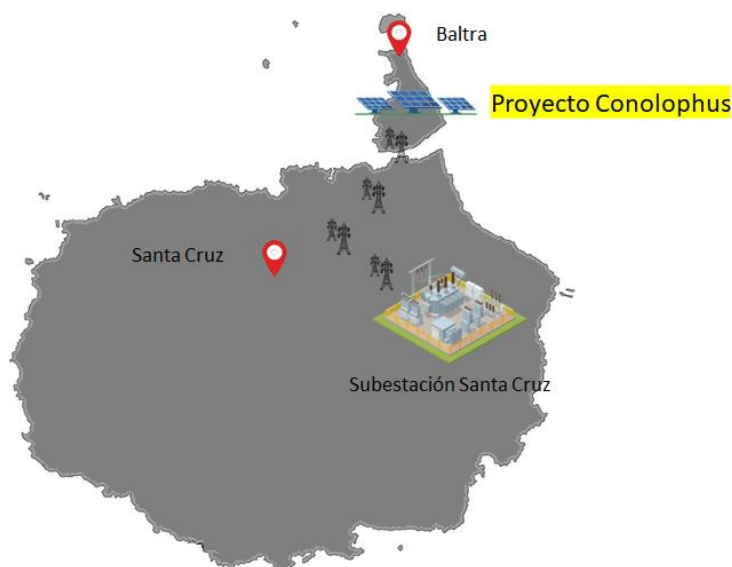


Figura 1. Proyecto Conolophus: Ubicación.

Fuente: Elaboración propia.

La infraestructura existente en esta región permite albergar un circuito adicional para incrementar los índices de confiabilidad del sistema eléctrico. Aquello posibilita la implementación de una línea de transmisión (34.5 kV) entre subestaciones (desde la subestación Baltra hacia la subestación Santa Cruz).

Conolophus pretende acrecentar el porcentaje de participación de fuentes de generación renovables, y garantizar la estabilidad del sistema eléctrico existente, calidad y continuidad de suministro eléctrico. Este proyecto, plantea disminuir notablemente el empleo de generadores diésel, puesto que, su principal fuente eléctrica halla sustento en una planta de energía intermitente con baterías para almacenamiento. Bajo esta acepción, los requisitos correspondientes a seguridad operativa y estabilidad del sistema de energía eléctrica resultan en extremo críticos, dado que, la fuente de generación halla lugar en una isla distinta a los puntos de carga existentes.

Para fortalecer la seguridad operativa existente en la región, el proyecto Conolophus, por medio de su central de despacho y dispositivos de almacenamiento ubicados en Baltra (33.9 MW/h) y Santa Cruz (7 MW/h) dispondrá las siguientes capacidades: maniobrar como fuente de voltaje, regular los niveles de frecuencia, soportar voltajes excesivos, controlar el factor de potencia en cuatro cuadrantes y, arranque en emergencia.

Este proyecto, automatizará el despacho manual de los componentes de generación Santa Cruz – Baltra a través de esquemas de control avanzado para regular frecuencia y voltaje, garantizando su estabilidad. Lo anterior mencionado, será complementado por un sistema de control principal para microrredes de energía renovable; y, contempla:

- Subestación de seccionamiento para la interconexión Santa Cruz – Baltra.
- Segundo circuito entre subestaciones: Santa Cruz – Baltra.
- Sistema de control central de microrred, capaz de integrar centrales de generación eléctrica y dispositivos de almacenamiento existentes y proyectados a futuro, optimizando los procesos de despacho de energía.

La figura expuesta a continuación, ilustra la integración de Conolophus en el sistema eléctrico Santa Cruz – Baltra:

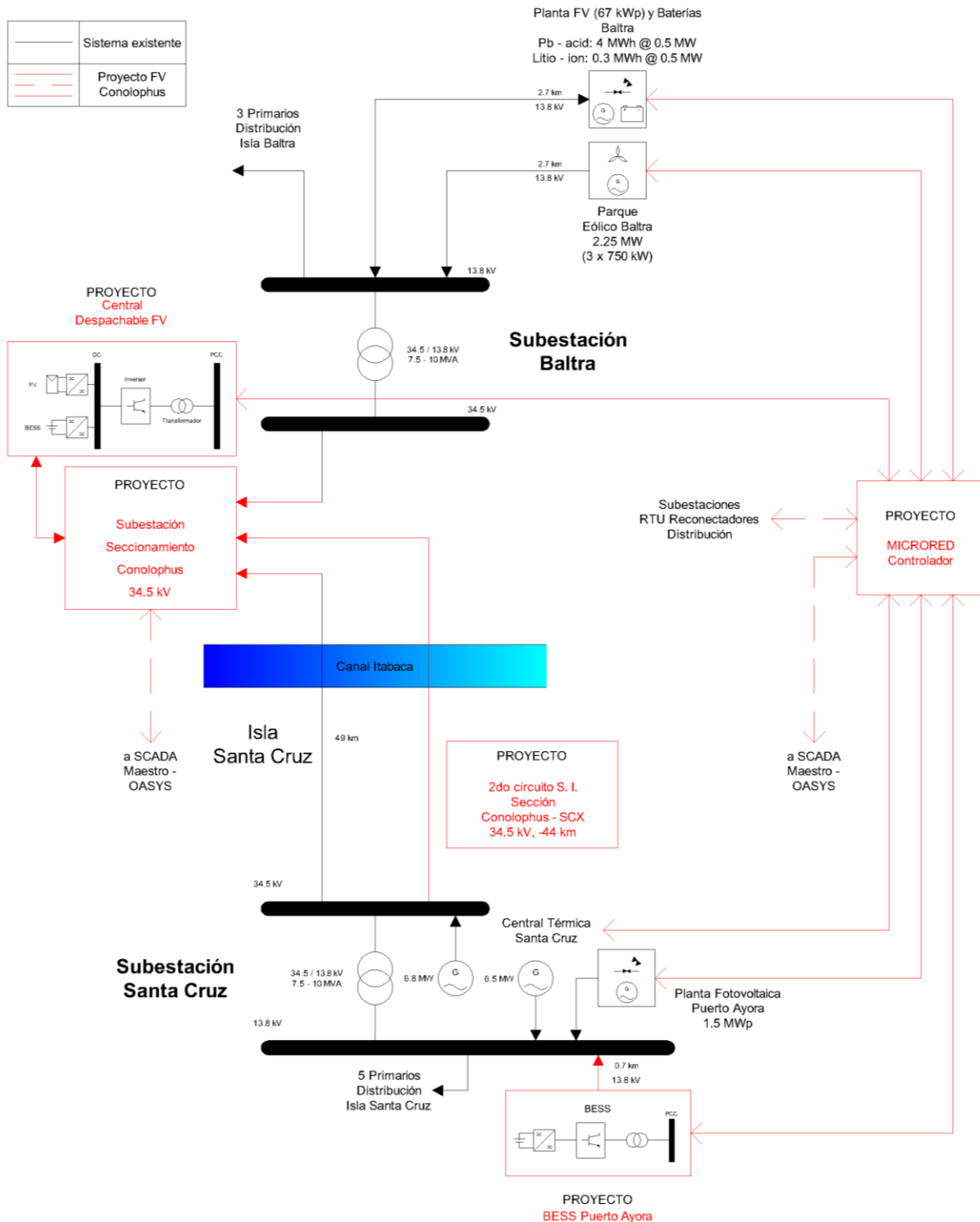


Figura 2. Proyecto fotovoltaico y su Integración con el sistema eléctrico existente.

Fuente: ELECGALÁPAGOS.

CAPÍTULO 3

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Descarbonización y su importancia

En el año 2019, los índices de concentración de dióxido de carbono (CO_2) alcanzaron 409 partes por millón (ppm). La descarbonización constituye un proceso vital enfocado en reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero derivados de actividades humanas y mitigar los efectos adversos que hallan origen en el cambio climático. Para ello, es necesario establecer modelos de transición energética caracterizados por su sostenibilidad, eficiencia energética y empleo de energías limpias.

Los procesos de descarbonización implican una amplia y profunda reestructuración inherente a los sistemas de generación de energía, modelos de transporte sostenible, sectores industriales y áreas económicas afines. Para tal efecto, resulta imprescindible reducir la dependencia de combustibles fósiles y adoptar modelos energéticos cuyo principio de funcionamiento halle lugar en energías renovables, caracterizadas por emisiones netas cercanas a cero durante su operación.

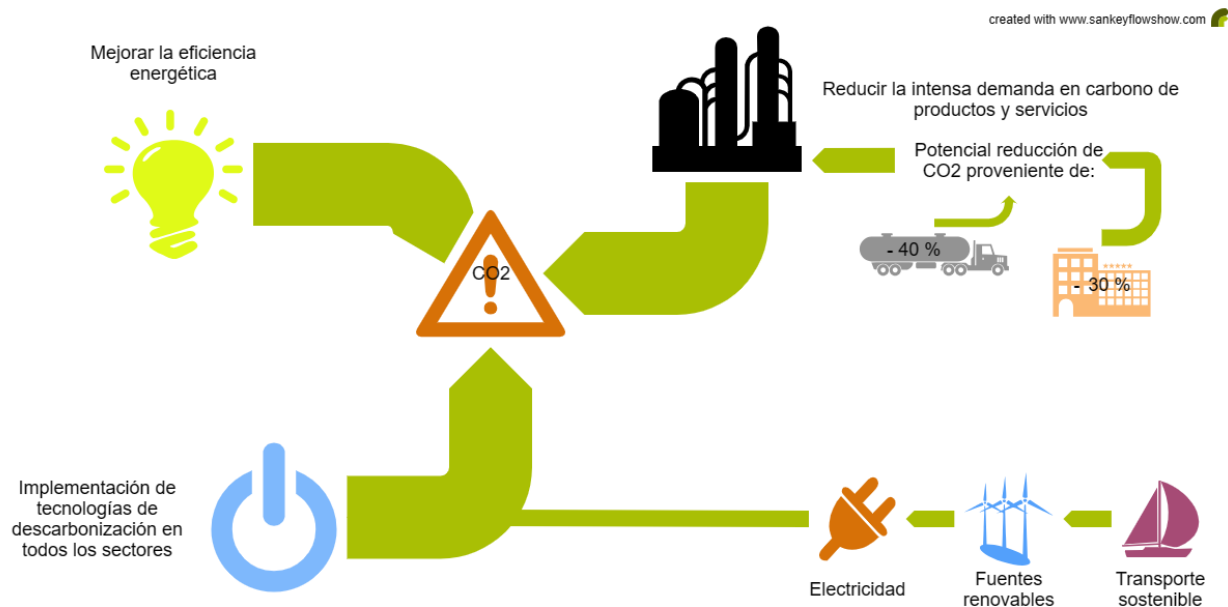
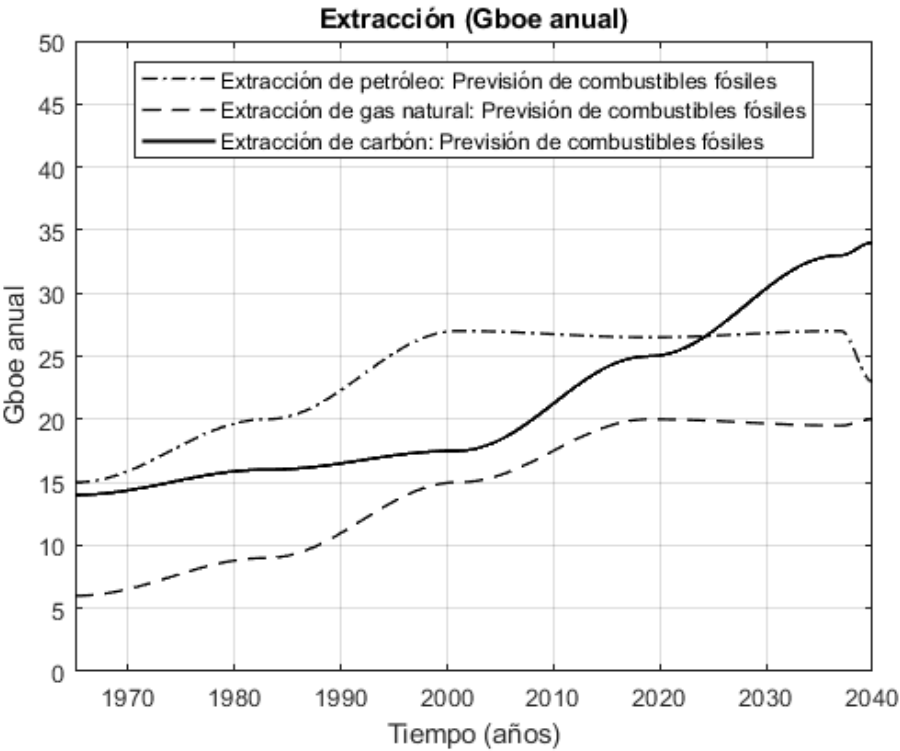


Figura 3. Proceso de descarbonización.

Fuente: Elaboración propia.

En términos cuantitativos, el empleo de combustibles fósiles representa el aporte más significativo respecto a la energía exosomática utilizada por la especie humana. Esta marcada dependencia se halla caracterizada por sus impactos ambientales asociados; y, sus reservas limitadas, pues y citando a Brandt: “(...) *Una metodología amplia de Hubbert presentaría evidencia de que el agotamiento del petróleo convencional es inevitable (...)*”. La utilización de combustibles fósiles deriva en una función no constante, dado que, dicho proceso es caracterizado por la imposibilidad de mantener sus niveles de explotación actuales. El gráfico expuesto a continuación, detalla un posible escenario respecto a la extracción de combustibles fósiles, abarcando un lapsus temporal comprendido históricamente desde el periodo anual 1965 hasta una proyección cercana a 2040.



Nota: Gboe = 10⁹ barriles de petróleo equivalente.

Figura 4. Extracción de combustibles fósiles (1965-2040).

Fuente: Elaboración propia.

Inmersos en el contexto competente, las Islas Galápagos, un ecosistema frágil y único, son amenazadas por el cambio climático y emisiones de carbono asociadas a actividades humanas. Lo anterior mencionado, es evidenciado en el incremento de las temperaturas climáticas y la

acidificación de los océanos, representando desafíos de suma criticidad para las especies vegetales y animales endémicas de dicha región. En adición, la dependencia de combustibles fósiles y su respectiva emisión de gases, constituyen una significativa amenaza en términos de calidad de aire, que aun, en pequeña escala generan efectos de carácter negativo en la salud respiratoria.

La adopción de fuentes de energía de carácter renovable, la promoción de sistemas de transporte sostenibles y la implementación de sistemas de eficiencia energética, harían posible la significativa reducción de emisión de gases y la huella ecológica, resultado de las actividades humanas en el ecosistema en análisis. Adicionalmente, los procesos de descarbonización resultan una estrategia esencial para garantizar la sostenibilidad ambiental e implicarían una independencia energética de las Islas Galápagos, evidenciada en la reducida importación de combustibles fósiles. En términos generales, la descarbonización constituye una oportunidad para implementar entornos ampliamente sostenibles e instaurar un modelo inspirador para regiones que atraviesan desafíos similares respecto al cambio climático.

La matriz energética instaurada en las Islas Galápagos está compuesta por la importación de diésel y combustible procedente de Ecuador continental; y, en menor escala, por fuentes de origen renovable (generación eólica y solar). Una transición energética de las Islas Galápagos demanda una matriz íntegramente constituida por procesos de generación renovables, transporte libre de emisiones y sistemas dotados por índices notables respecto a seguridad y eficiencia energética, desarrollo sostenible, innovación de capacidades locales y protección del ambiente en su totalidad.

3.2. Energías renovables: concepto y aplicaciones

La mera existencia humana implica utilización de energía. La Revolución Industrial y los conocimientos humanos adquiridos posibilitaron avances técnicos de notable eficiencia, capaces de efectuar trabajos caracterizados por elevadas demandas de energía. No obstante, el crecimiento poblacional demandó condiciones de vida superiores, que, produjo un crecimiento continuo del gasto energético, generando situaciones de incertidumbre respecto a procesos de agotamiento de combustibles fósiles, calentamiento global y contaminación atmosférica. El empleo de combustibles fósiles y nucleares para procesos de generación eléctrica resulta sumamente arraigado en sociedades industrializadas; situación que ha generado tropiezos en la implementación de energías renovables, evidenciados en dificultades técnicas, problemas de

diseño; y, conflictos económicos e históricos. Dichas problemáticas, asociadas a contextos políticos y sociales, han despertado un extendido interés en fuentes de energía renovable.

La necesidad de suministrar energía eléctrica a lugares remotos y aislados de las principales líneas de distribución eléctrica, origina los primeros procesos de generación renovable. En líneas temporales, tal procedimiento halla lugar en 1910 y 1920

Ante ello, resulta necesario disponer fuentes de energía renovables adicionales, capaces de garantizar el suministro eléctrico. El análisis correspondiente a energías renovables enfoca su área de interés en cuestiones de carácter técnico y medioambientales, desarrollando estudios comparativos capaces de establecer índices de diferencia descritos por energías convencionales y energías originadas en recursos renovables.

Las energías renovables, caracterizadas por diversos flujos energéticos, demandan esfuerzos investigativos y desarrollo en campo de dispositivos capaces de obtener altos índices de beneficio y eficiencia. En condiciones similares, resulta prioritario integrar la energía de carácter renovable producida en las redes de distribución convencionales, dotando mayor robustez y confiabilidad al Sistema Nacional Interconectado (SNI).

Tras las acepciones previamente definidas, surge la necesidad de implementar mecanismos y / o sistemas capaces de aprovechar recursos energéticos renovables. Inmersos en dicho contexto, los recursos eólicos y solares constituyen una fuente de amplia utilidad y escasa explotación. En términos simples, la energía eólica emplea la energía cinética derivada de las corrientes de aire y previa transformación mecánica, genera energía eléctrica. Dicho proceso descrito en líneas anteriores, es desarrollado por aerogeneradores o generadores eólicos. En tanto que, la energía solar, genera energía eléctrica y / o calórica tras captar radiación solar a través de paneles fotovoltaicos o colectores solares térmicos, respectivamente.

Dichas energías, adquieren un papel de producción energético sostenible y carente de emisiones de gases; y, constituyen un aspecto fundamental para establecer modelos de transición hacia un modelo energético sustentable, pues y citando a la Organización de las Naciones Unidas, *“son energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que puede consumirse”*. Adicionalmente, en términos prometedores, pretenden mitigar las consecuencias derivadas del cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Por ello, la generación eólica y solar es capaz de satisfacer los objetivos energéticos de una región; y, a escala menor, persigue implementar dichos recursos en ambientes urbanos y / o

aislados, siendo este último, el caso en estudio. Los dispositivos requeridos para efectuar procesos de generación eléctrica a partir de energía eólica y solar demandan lugares apropiados para su implementación; y, constituyen una alternativa de producción eléctrica de reciente data para consumidores residenciales, comerciales y turísticos. Partiendo desde un enfoque ambiental, la adaptación de generadores eólicos y paneles solares en ambientes aislados y regiones alejadas resulta ampliamente sostenible.

3.3. Eficiencia energética: fundamentos y beneficios

La acepción correspondiente a eficiencia energética constituye un concepto clave respecto a la optimización del consumo de energía eléctrica, cuyo enfoque, pretende maximizar los índices de rendimiento y minimizar las pérdidas derivadas de los procesos y sistemas. Su punto de partida halla fundamento en el empleo racional de energía a través de tecnologías ampliamente eficientes y la promoción de prácticas que minimicen el derroche de residuos energéticos, y en añadidura, la reducción de emisión de gases contaminantes. Aquello, permite alcanzar la sostenibilidad y resiliencia energética en la situación actual, respecto a escasez de recursos y preocupación ambiental.

Lo anterior mencionado, contribuye a reducir la huella de carbono derivadas del accionar humano; y, adicionalmente, implica significativos ahorros correspondientes a costos de energía. En términos generales, los procesos caracterizados por su eficiencia energética mejoran la competitividad y productividad tras reducir los costos operativos y ampliar su sostenibilidad.

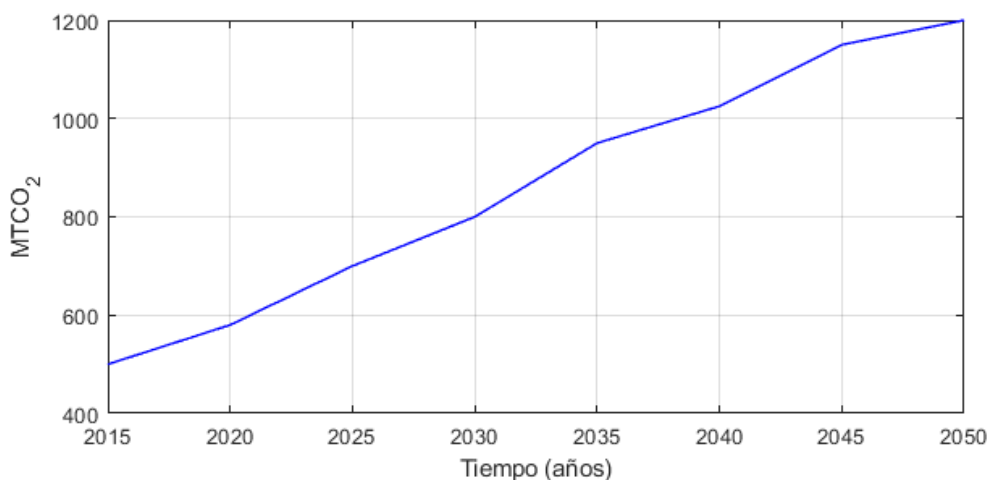


Figura 5. Emisiones proyectadas correspondientes al sector de generación eléctrica.

Fuente: Carbono cero – ONU.

Ahora, si el enfoque radica en el archipiélago de Colón, la eficiencia energética junto con la adopción de fuentes de energía renovable, generan una posibilidad tangible para enfrentar su histórica dependencia de combustibles fósiles, puesto que, tras lograr consumos eficientes y mejorar los sistemas de distribución eléctrica, las Islas Galápagos reducirían notablemente sus importaciones de combustibles; y, por ende, salvaguardar su valioso ecosistema y única biodiversidad.

En términos generales, la implementación, en edificaciones y operaciones turísticas, de prácticas y tecnologías enfocadas en sostenibilidad y eficiencia energética implicaría una reducción de consumo eléctrico y minimización correspondiente a importación de combustibles fósiles. Adoptar tecnologías de iluminación LED, promover el empleo de electrodomésticos eficientes y desarrollar sistemas de climatización óptimos reducirían el consumo de energía eléctrica hasta un 30% en el sector turístico y áreas afines.

Si a lo anterior mencionado, añadimos sistemas de transporte sostenible en la región insular de Galápagos, la reducción de emisiones de carbono disminuiría hasta un 40%. Esta práctica consiste en el empleo de autobuses eléctricos, bicicletas y vehículos eléctricos de uso compartido, aspecto que minimizaría el tráfico de vehículos basados en combustión interna.

Si el contexto escenificado en líneas previas, es complementado con fuentes de generación renovables (energía solar y eólica) y sistemas de gestión energética inteligente, surge la posibilidad de optimizar el consumo de energía eléctrica en tiempo real, reduciendo los desperdicios energéticos; y, acrecentando los índices de eficiencia correspondientes a consumo.

3.4. Transporte sostenible: enfoques y perspectiva

Los sistemas de transporte sostenible persiguen minimizar los índices de impacto ambiental, social y económico derivados del desplazamiento de individuos y mercancías. Para ello, resulta imperante implementar medios de transporte sumamente eficientes y ecológicos; planificar estrategias de movilidad que prioricen a los peatones y ciclistas; reducir la congestión vehicular; y, potenciar la infraestructura de los sistemas de movilidad.

La figura expuesta a continuación, grafica una proyección de emisiones de CO_2 derivadas del sector de transporte en la región. Es posible evidenciar un marcado crecimiento de emisiones de gases contaminantes; por ello, resulta esencial electrificar el sector de movilidad, contribuyendo a una descarbonización rentable.

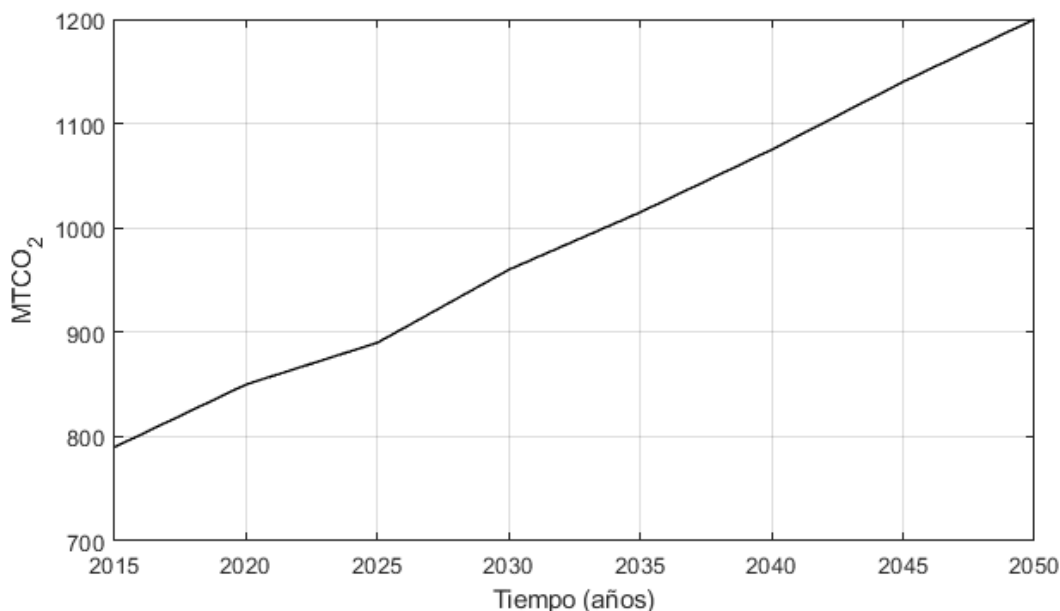


Figura 6. Proyección de emisiones de carbono derivadas del sector de transporte.

Fuente: Carbono cero – ONU.

Un transporte sostenible fomenta una movilidad segura, accesible y equitativa; enfocada, no solamente en la reducción de la dependencia de combustibles fósiles sino, en impulsar tecnologías sostenibles bajas en carbono.

La transición hacia medios de transporte eléctrico, el fortalecimiento de los sistemas de movilidad pública y el empleo de tecnologías inteligentes enfocadas en procesos de gestión del tráfico constituyen aspectos y estrategias destinadas a implementarse en la región insular de Galápagos para su descarbonización. El empleo de vehículos y buses eléctricos demandaría zonas de carga para su correcto desempeño y funcionalidad. En cuanto, a sistemas de transporte marítimo, surge la posibilidad de utilizar embarcaciones, cuyo principio de funcionamiento radique en energía renovable, minimizando emisiones de carbono en rutas marítimas.

Dentro de este apartado, resulta imprescindible mencionar que la importación de combustibles fósiles hacia el archipiélago de Colón implica riesgos ambientales. Ejemplo de ello, fue el colapso y hundimiento del buque Jessica en la entrada de Puerto Baquerizo Moreno, sucedido el día 13 de enero de 2001. Dicha embarcación transportaba 900000 toneladas de productos derivados de petróleo y aceite de combustible. Una semana posterior al evento, el combustible contenido empezó a regarse por sus áreas aledañas, afectando diversas especies animales. Cerca de

650000 toneladas de combustible fueron propagadas por el entorno marítimo, producto de dicho trágico suceso.



Figura 7. Hundimiento del buque Jessica.

Fuente: BBC.

3.5. Sostenibilidad y conservación en América Latina y El Caribe; y, en las Islas Galápagos

Previo a aterrizar en el análisis de las Islas Galápagos, evaluaremos en líneas concretas la situación actual en la región comprendida por América Latina y El Caribe -en adelante ALC-.

La implementación de procesos de transición hacia matrices energéticas renovables se halla vigente en la región. El sector eléctrico y capacidad total instalada correspondiente a ALC está compuesto en mayor escala por fuentes de energía renovables (58%). Tal incremento ha minimizado la intensidad de carbono en esta región.

La descarbonización de la industria de transporte persigue implementar estrategias de eficiencia energética destinadas a minimizar índices de emisiones de carbono. No obstante, el sector de transporte, emplea mayores porcentajes de energía fósil (combustible diésel y gasolina) en comparativa con diferentes áreas económicas.

Tabla 1. Combustibles empleados por sistemas de transporte.

Combustibles empleados por sistemas de transporte	
Combustibles	Porcentaje (%)
Gasolina	44.3
Diésel	38.6
Etanol	9.5
Gas natural	2.6

Biodiésel	2.6
Electricidad	0.7
Crudo pesado	0.4
Combustible para aviones	0.2
GLP	0.1

Fuente: Carbono cero – ONU.

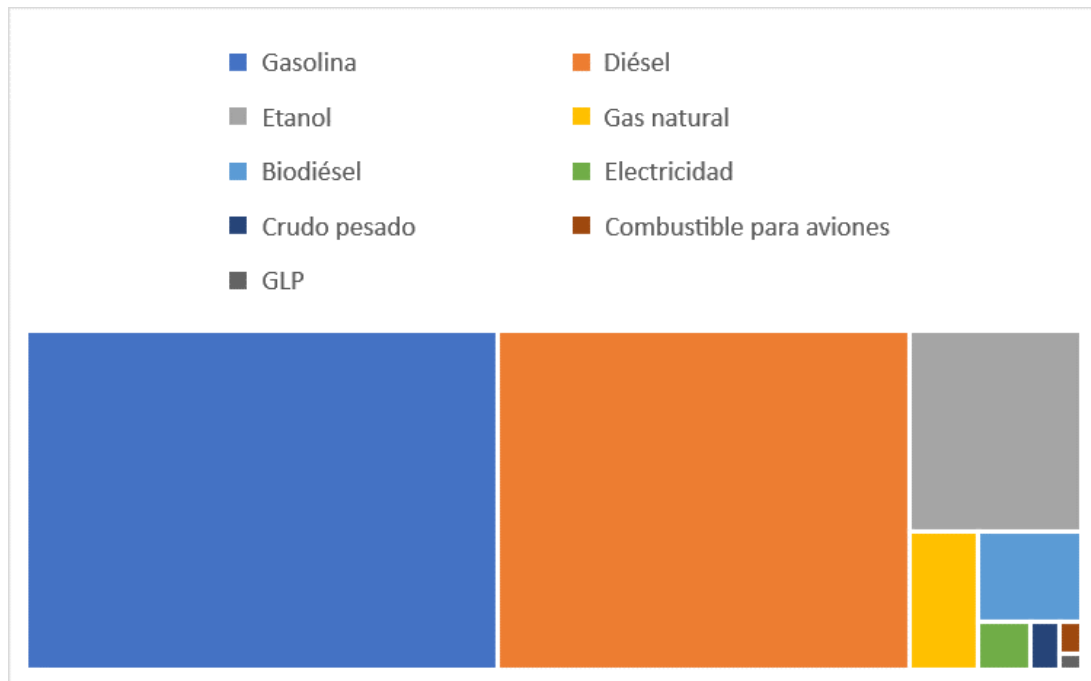


Figura 8. Combustibles empleados por sistemas de transporte en ALC.

Fuente: Elaboración propia.

En términos de tecnologías renovables para la generación de electricidad, la región dispone de zonas que guardan un amplio potencial para explotar y adquirir energía solar (Atacama, Sonora), eólica (Patagonia, Costa Atlántica de América del Sur Istmo de Tehuantepec, Península de Guajira), mareomotriz (costa sur del Pacífico correspondiente a América del Sur), geotérmica (Cordillera de los Andes, Cordillera Central) e hidroeléctrica en toda el área analizada.

Las fuentes regionales energéticas solares y eólicas, en conjunto, superan los 50 GW de capacidad instalada. Este marcado crecimiento, responde a la existencia de proyectos renovables dotados de notables capacidades de operación. Su implementación se halla impulsada por una significativa reducción de costos de componentes principales inherentes a turbinas eólicas y módulos fotovoltaicos.

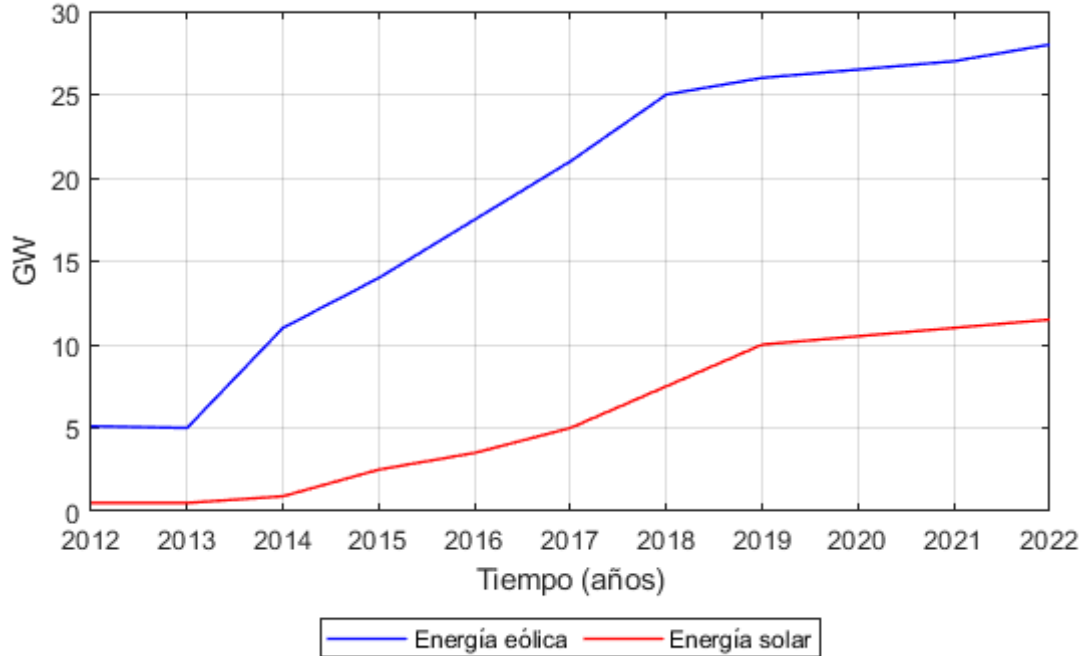


Figura 9. Evolución de la capacidad eólica y solar fotovoltaica instalada en ALC.

Fuente: ENERDATA.

La región debe tomar decisiones acertadas para construir un sistema eléctrico eficiente, fiable, seguro y sostenible. La producción hidroeléctrica representa el 46% de la capacidad energética de la región, no obstante, la recopilación de datos en diversos escenarios, sugiere que, hacia 2040 su potencial de generación disminuirá una cuarta parte debido a la variabilidad de los recursos hídricos. El empleo de gas, caracterizado por su ritmo actual, superará la generación hidroeléctrica hacia 2030; aquello, incrementaría los índices de emisiones de gases y produciría bloqueos tecnológicos. Ante ello, resulta necesario que América Latina y El Caribe fortalezca su matriz energética admitiendo fuentes energéticas renovables en sus procesos operativos.

Inmersos en el sector transporte, la región debe garantizar procesos de electrificación de sistemas de movilidad y desarrollar industrias auxiliares capaces de satisfacer sus necesidades regionales. Los medios de transporte eléctricos y su inserción en la región demandan desarrollos tecnológicos: Despliegue de sistemas óptimos de baterías y su implementación en el mercado automotriz; puntos de carga caracterizados por su alto rendimiento y voltajes adecuados para medios de transporte pesados; y, desarrollo de vías eléctricas para automotores eléctricos posibilitando su carga durante su conducción.

La región debe promocionar la electrificación de los sistemas de transporte público a través de políticas traducidas en estándares económicos y estrategias destinadas a obtener emisiones cero de carbono. La implementación de políticas y regulaciones adquieren un rol crítico para descarbonizar los sistemas de movilidad; e implican una coordinación colateral entre los diversos sectores. Esta estructura de mercado reciente debe hallarse dispuesta por objetivos definidos y una hoja de ruta concreta y detallada.

Emigrar hacia escenarios constituidos por sistemas de movilidad netamente eléctricos, reduciría ampliamente las emisiones de carbono en la región e implicaría incrementar los requisitos de electricidad proyectados. Un escenario electrificado en su totalidad, minimizaría la demanda de energía en 2000 millones de barriles de petróleo; y, acrecentaría los índices de demanda eléctrica en 33%. Para ello, resulta necesario implementar y adicionar una potencia nominal superior a 300 GW, proyectada hacia 2040, y rangos temporales posteriores. Lo anterior mencionado, es expuesto en la figura 7.

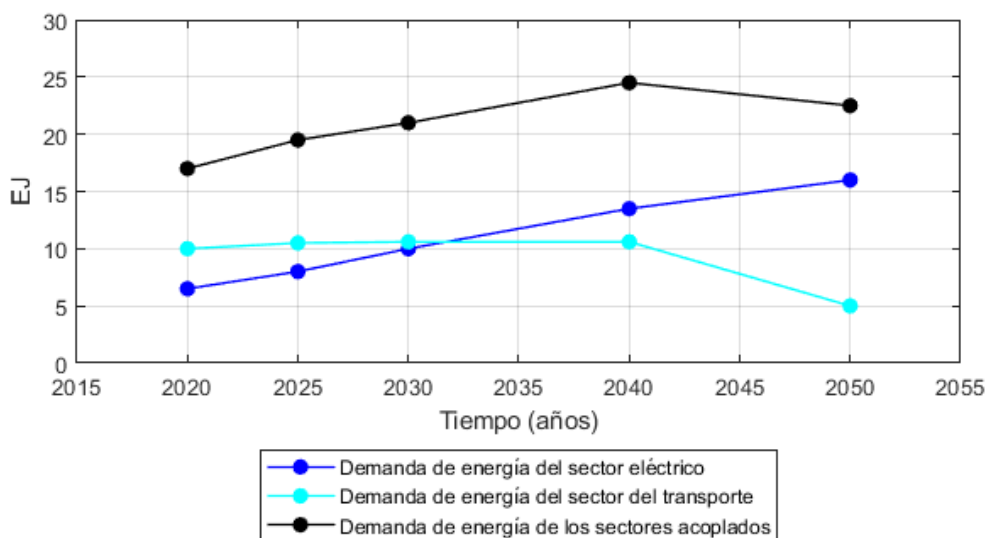


Figura 10. Demanda energética proyectada bajo una descarbonización acoplada por los sectores eléctricos y los sistemas de transporte en ALC.

Fuente: Carbono cero – ONU.

El desarrollo e implementación de políticas y normas describen un rol vital en el proceso de descarbonización, puesto que, otorgan un marco regulatorio constituido por directrices destinadas a instaurar transiciones energéticas hacia economías bajas en carbono, creando entornos, energéticamente limpios; y, estructuralmente, sostenibles.

La esencia de los marcos regulatorios radica en su capacidad para establecer índices de eficiencia energética para guiar y acelerar el camino hacia una región descarbonizada. La tabla expuesta a continuación, exhibe las políticas y normativas regulatorias relacionadas a la gestión de cambio climático en Ecuador.

Tabla 2. Normas relacionadas a cambio climático en Ecuador.

País	Normativa	Categoría
Ecuador	Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012 – 2025 (Decreto Ejecutivo No. 1815 y Acuerdo Ministerial No. 095).	Oferta de energía, demanda energética, adaptación, instituciones / arreglos administrativos.
	Decreto Ejecutivo No. 495 de la creación del Comité Interinstitucional de Cambio Climático.	Instituciones / arreglos administrativos.
	Decreto Ejecutivo No. 004 / 11 sobre la tarifa para fuentes de energía renovable no convencionales.	Oferta de energía.
	Programa RENOVA (Decreto Ejecutivo No. 676 / Decreto Ejecutivo No. 741).	Demanda Energética.
	Acuerdo ministerial No. 089 que establece la Autoridad Nacional para la aplicación de Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs).	Instituciones / arreglos administrativos.
	Acuerdo Ministerial No. 33 sobre REDD+.	REDD+ y UTCUTS.
	Plan Nacional del Buen Vivir (2013 - 2017).	Oferta de energía, demanda energética, REDD+ y UTCUTS, adaptación.

	Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica.	Oferta de energía, demanda energética, instituciones / arreglos administrativos.
	Código Orgánico del Ambiente.	Oferta de energía, demanda energética, REDD+ y UTCUTS, transporte, adaptación, investigación y desarrollo, instituciones / arreglos administrativos.
	Acuerdo Ministerial Np. 160 – Transferencia de reducciones de Certificados de Reducción de Emisiones (CER por sus siglas en inglés) de proyectos MDL.	Mitigación.
	Acuerdo Ministerial No/ 103 – Carta de Registro REDD+.	REDD+ y UTCUTS.
	Acuerdo Ministerial No. 128 – Guía sobre los requisitos y procedimientos REDD+.	REDD+ y UTCUTS.
	Acuerdo Ministerial No. 045 – Normas sobre Desertificación, Degradación de Tierras y Sequía.	Instituciones / arreglos administrativos.
	Acuerdo Ministerial No. 137 – Lineamientos para los Planes de Cambio Climático.	Instituciones / arreglos administrativos.
	Acuerdo Ministerial No. 141 – Autoridad Ambiental Carbono Neutral.	Instituciones / arreglos administrativos.
	Acuerdo Ministerial No. 264 – Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental Carbono Neutral.	Mecanismo para otorgar el reconocimiento ecuatoriano ambiental “Carbono Neutral”.
	Acuerdo Ministerial No. 265 – Instructivo para consultores “Carbono Neutral”.	Procedimiento para calificar y registrar a consultores en el marco del reconocimiento

		ecuatoriano “Carbono Neutral”.
	Acuerdo Ministerial No. 116 – Plan de Acción REDD+ para el Buen Vivir.	REDD+ y UTCUTS.

Fuente: Avances en la Acción Climática de América Latina.

A pesar del desarrollo y existencia de políticas energéticas en el marco legal ecuatoriano, su situación no resulta alentadora ciertamente. Lo anterior mencionado, es reflejado en la figura 9, cuyo contenido grafica los millones de toneladas de dióxido de carbono emitidos a escala global; y, en Ecuador.

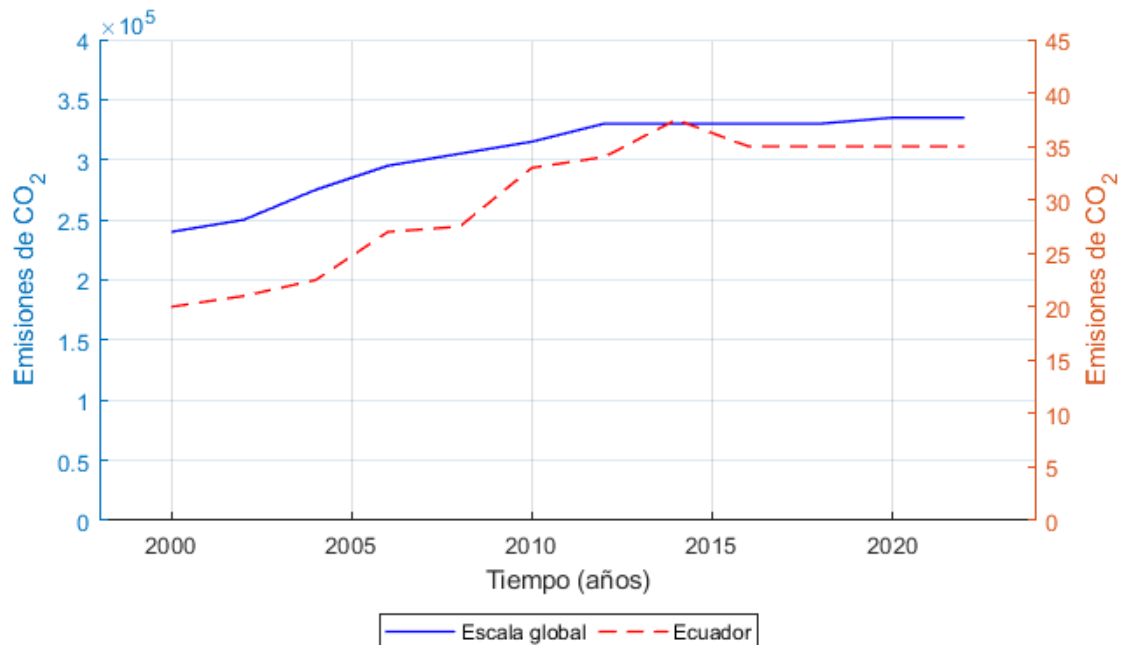


Figura 11. Emisiones de CO₂ en el mundo y en Ecuador (Millones de toneladas).

Fuente: BP Ecuador.

Tras evaluar a grandes rasgos la situación respecto a América Latina y El Caribe; y, Ecuador, resulta necesario estudiar la región insular de Galápagos y su correspondiente contexto energético. El archipiélago de Colón es un patrimonio natural invaluable; cuya sostenibilidad es traducida en la aplicabilidad de políticas energéticas y procesos de transición hacia fuentes renovables de energía.

Bajo esta línea, existen iniciativas para las Islas Galápagos destinadas a reducir la dependencia y empleo de combustibles; y, emisiones de carbono en dicha región. Es posible mencionar la iniciativa “*Cero combustibles*” que consiste en utilizar aceite vegetal (etanol y biodiésel) en lugar de combustible diésel. Para ello, la Empresa Eléctrica Provincial Galápagos (EEPG) ha adquirido generadores eléctricos, cuyo principio de funcionamiento radica en biocombustibles. No obstante, resulta necesario observar sus efectos contraproducentes; puesto que, la utilización de cultivos para la producción de biocombustibles implicaría tala, deforestación y desertización de amplias áreas de terreno selváticos.

Los asentamientos humanos representan apenas el 3%, en tanto que, el área restante forma parte del Parque Nacional de Galápagos. Aquello implica que su población económicamente activa labora en la industria turística y / o pesquera; desarrolla actividades de conservación; o, es integrante de organismo alguno de administración pública. Las zonas pobladas presentes en diferentes islas cuentan con puertos propios y zonas agropecuarias instaladas en franjas de tierra húmeda. El archipiélago de Colón, entre otras islas, se halla constituido por: Isla Santa Cruz, Isla Isabela, Isla Fernandina, Isla Santiago, Isla San Cristóbal, Isla Floreana, Isla Marchena, Isla Española, Isla Pinta, Isla Baltra, Isla Santa Fe, Isla Pinzón, Isla Genovesa, Isla Rábida, Isla Seymour Norte, Isla Wolf, Isla Tortuga, Isla Bartolomé, Isla Darwin.



Figura 12. Disposición política de las Islas Galápagos.

Obtenido de: <https://ec.viajandox.com/galapagos-P4>.

Los sistemas de transporte marítimos y aéreos abastecen el poblado existente en el archipiélago de Galápagos. Sin embargo, las cargas transportadas por tránsito aéreo demandan mayores costos económicos e implican índices de emisiones de CO_2 . Por ello, el envío de mercadería a grandes volúmenes sucede vía marítima debido a sus precios accesibles, no obstante, durante su ejecución existe el riesgo latente de derrames de combustibles e introducción de plagas.

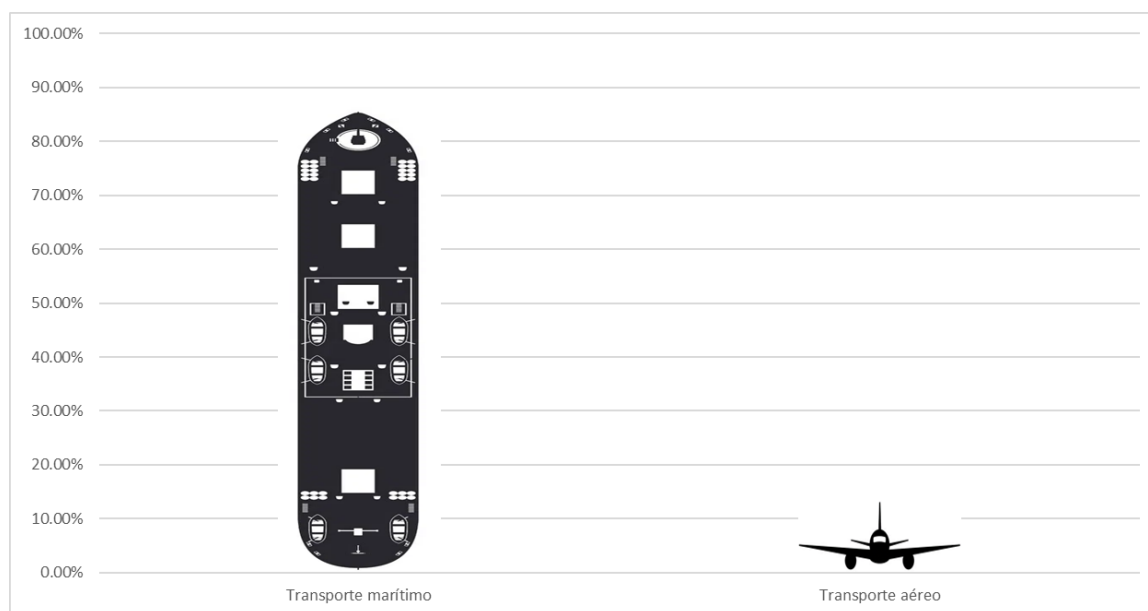


Figura 13. Abastecimiento de las Islas Galápagos.

Fuente: Elaboración propia.

Es esencial reconocer que la región insular de Galápagos constituye un amplio mercado turístico, puesto que, anualmente recibe 170000 turistas, aproximadamente (dicha cifra crece por cada año). En forma análoga, esto, es evidenciado en una progresiva producción de desechos y una creciente demanda energética. Adicionalmente, el parque automotor y naves de carga para movilización entre islas incrementa notablemente. La tabla expuesta a continuación ejemplifica solamente algunas de las actividades turísticas en el archipiélago de Colón y sus emisiones de carbono.

Tabla 3. Toneladas exactas de CO_2 por viaje.

Nombre del viaje	Duración en días	Emisiones de CO_2 (toneladas)
Adventure Route	8	2.08

De Baltra a San Cristóbal	8	2.08
Gran crucero de Galápagos	15	3.9
La Gran Vuelta a Galápagos	15	3.9
Crucero centro y este de Galápagos	4	1.72
Centro y este (Inicia en Quito)	10	2.6
Centro, Floreana y Fernandina	7	1.82
Centro, Genovesa y oeste	10	2.6
Centro, Genovesa y Santiago	15	3.9
Centro y norte de Galápagos	5	1.3
Centro, Santiago y Floreana	8	2.08
Centro y sureste de Galápagos	8	2.08
Centro, sureste y Genovesa	10	2.6
Centro y oriente	8	2.08
Islas centrales y orientales	5	2.6
Centro, oriente y sur de Galápagos	8	2.08
Islas centrales, orientales y meridionales	8	2.6
Islas centrales, orientales, meridionales y septentrionales	11	1.82
Centro, este y sur	10	2.6
Centro de Galápagos	5	1.3
Centro y Genovesa	8	2.08
Centro y San Cristóbal	5	1.3
Centro, norte y oeste de Galápagos	8	2.08
Centro, norte, este y oeste de Galápagos	11	2.86
Crucero completo de Galápagos	17	4.42
Sureste y noroeste de Galápagos	15	3.9

Fuente: Turismo sustentable en Galápagos.

Ante ello, el aeropuerto ecológico de Galápagos ha jugado un rol de trascendental importancia para reducir los estragos derivados del cambio climático. Dicha infraestructura ha reducido 40% de emisiones de carbono y ha instaurado un ejemplo en la región para descarbonizar regiones naturales.

Esta terminal ecológica, halla lugar en la Isla Seymour y, tras su recuperación, constituye una edificación sustentable, puesto que, para su construcción fueron empleados materiales propios del archipiélago (piedra volcánica). Su diseño sostenible persigue minimizar el impacto ambiental; y, para ello, emplea a su favor la dirección de las corrientes de viento, los índices de luminosidad y sus diferentes condiciones climáticas para obtener iluminación y ventilación natural. La totalidad de este aeropuerto ecológico emplea energías renovables: Solar, a través de paneles fotovoltaicos instalados a lo largo de sus caminerías (35%); y, Eólica, mediante molinos eólicos implementados en la Isla de Baltra (65%).



(a)

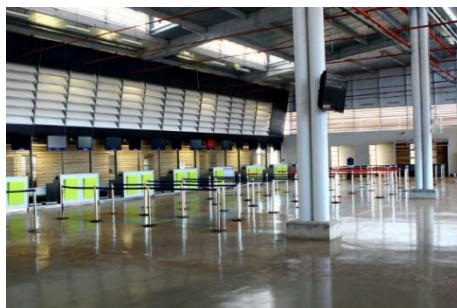


(b)

Figura 14. Paneles fotovoltaicos y generadores eólicos: (a) Paneles fotovoltaicos en el aeropuerto ecológico de Galápagos. (b) Aerogeneradores en Baltra.

Fuente: (a) Revista “Aeromundo”, (b) APIVE Ecuador.

Su diseño y moderna estructura permite ahorrar 1.626 MWh (Megavatios por hora) anuales, dado que, no emplea sistemas de aire acondicionado convencionales. El diseño correspondiente a su estructura de soporte, evita el ingreso de carbono proveniente de aviones a sus instalaciones; y, reduce los niveles de ruido existente en su interior.



(a)



(b)

Figura 15. ECOGAL: (a) Estructuras de soporte. (b) Sistema de entrada de aire y circulación de aire.

Nota: Su estructura emplea tuberías de acero recuperadas de campos petroleros amazónicos.

Fuente: Revista “Arquitectura y empresa”: Arquitectura sostenible.

El Aeropuerto Ecológico de Galápagos (Ecogal) ha mejorado también sus índices de optimización y uso eficiente de energía mediante la implementación de sistemas “LUTRON”. Este esquema otorga procesos de control y automatización de la iluminación; que posibilitan gestionar el uso de energía eléctrica bajo un mismo software. Adicionalmente, es necesario remarcar la sustitución de luminarias convencionales de mercurio por iluminación LED.

El sistema de automatización “LUTRON” en términos estadísticos, produce un ahorro de 53% por conceptos de iluminación. Esto es traducido en el ahorro de 1880.85 MWh (Megavatios por hora) y \$1.40 USD por hora de consumo eléctrico; y, adicionalmente, ha mitigado la emisión de 1796.2 toneladas de CO_2 .

La tabla 4 expuesta a continuación, cuantifica las emisiones de carbono derivadas de las actividades de aviación de esta terminal. Durante la pandemia ocurrida durante 2020, las operaciones fueron disminuidas, ocasionando una reducción de gases contaminantes. No obstante, en 2021 y 2022, el retorno a las actividades con cierta normalidad, no significó un incremento devastador en esta zona, por el contrario, las emisiones de carbono fueron controladas significativamente. En consecuencia, este aeropuerto ha logrado reducir su huella de carbono a la mitad. Esto evidencia que tres ámbitos pueden interactuar entre sí: El cuidado ambiental, la responsabilidad social y la sostenibilidad, caracterizados por programas de mejoramiento continuo de procesos y atención.

Tabla 4. Emisiones de carbono en el aeropuerto ecológico de las Islas Galápagos.

Toneladas de carbono (tCO_2eq)	2019	2020	2021	2022
Alcance 1 (Turismo)	239.6	79.3	89	91
Alcance 2 (Actividades locales)	167.8	99.2	102.6	102.4
Alcance 3 (implica viajes de negocios)	488.8	210.8	224	224
Total	896.2	389.3	415.6	417.4

Fuente: Informe ECOGAL.

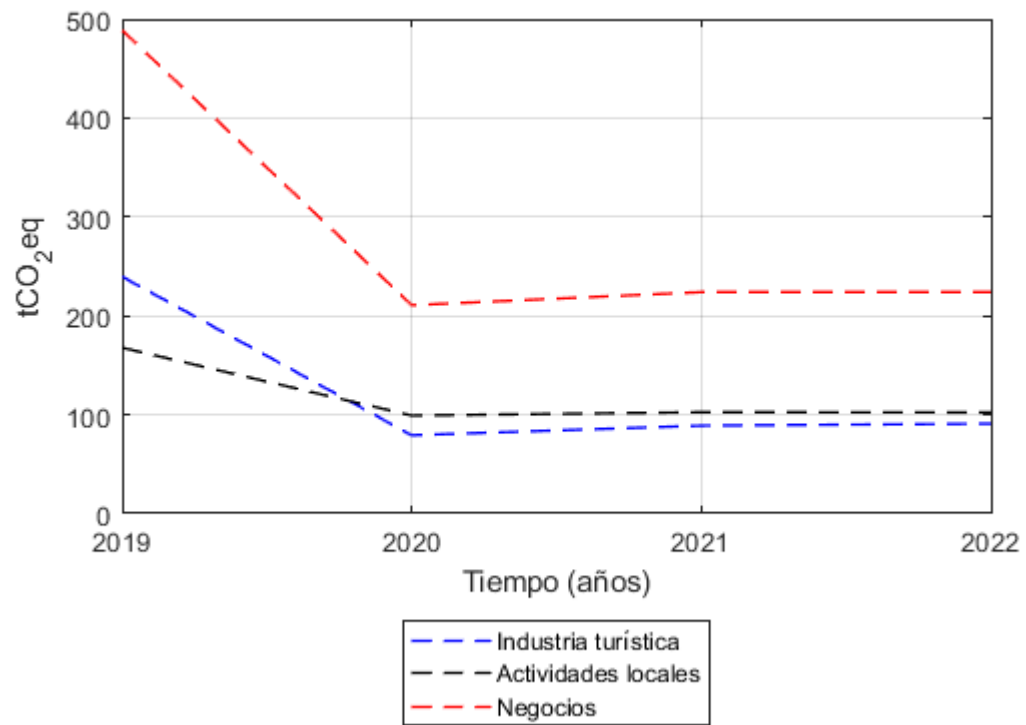


Figura 16. Emisiones de carbono generadas por ECOGAL.

Fuente: Informe ECOGAL.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS Y PLAN DE DESCARBONIZACIÓN

4.1. Año base

El año base planteado para descarbonizar las Islas Galápagos inicia en 2020, siendo este un punto de partida fundamental en la planificación y ejecución de estrategias destinadas a reducir drásticamente las emisiones de carbono. Hacia 2020, las emisiones de gases contaminantes hallaban origen en diferentes fuentes. Las figuras expuestas a continuación ilustran el porcentaje de distribución correspondiente a emisiones clasificados en contaminantes primarios y gases de efecto invernadero en las Islas Galápagos.

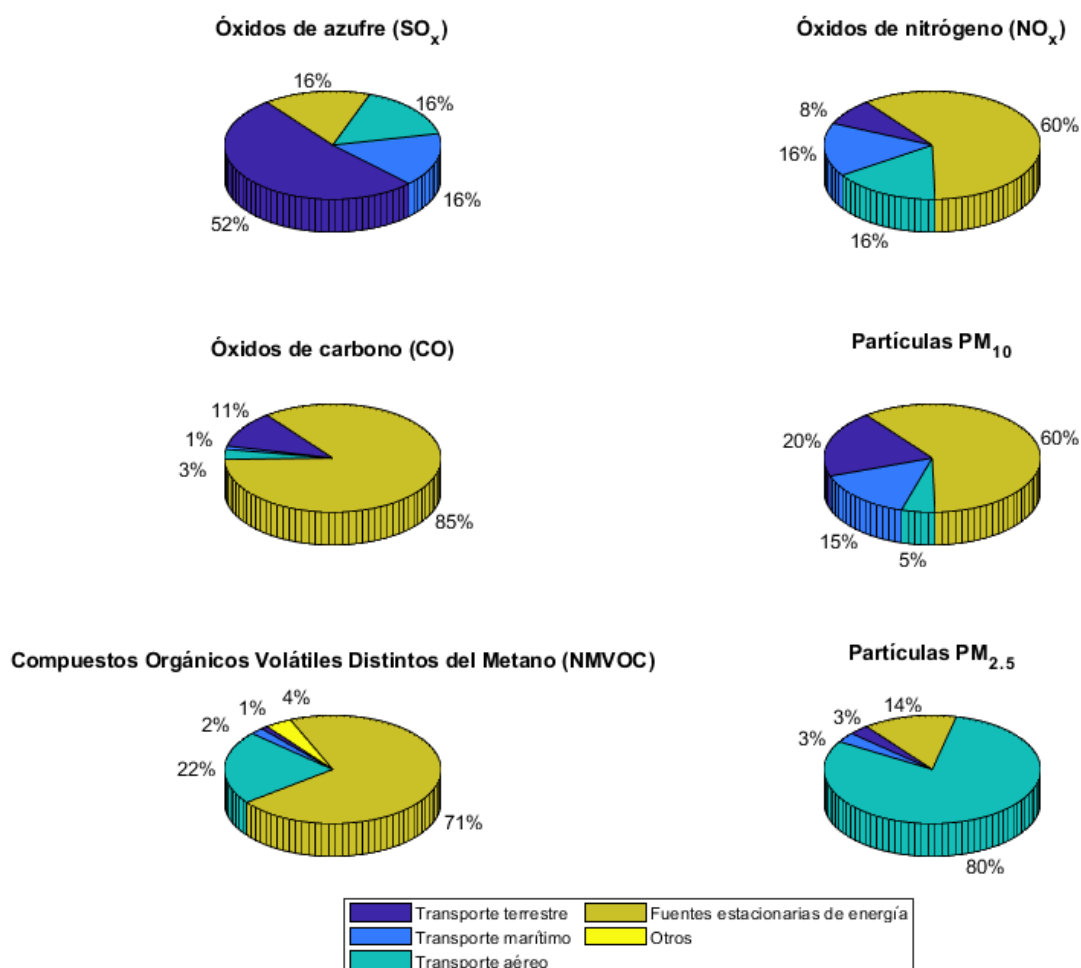


Figura 17. Distribución de porcentajes de emisiones de contaminantes primarios en 2020 en las Islas Galápagos.

Fuente: Elaboración propia.

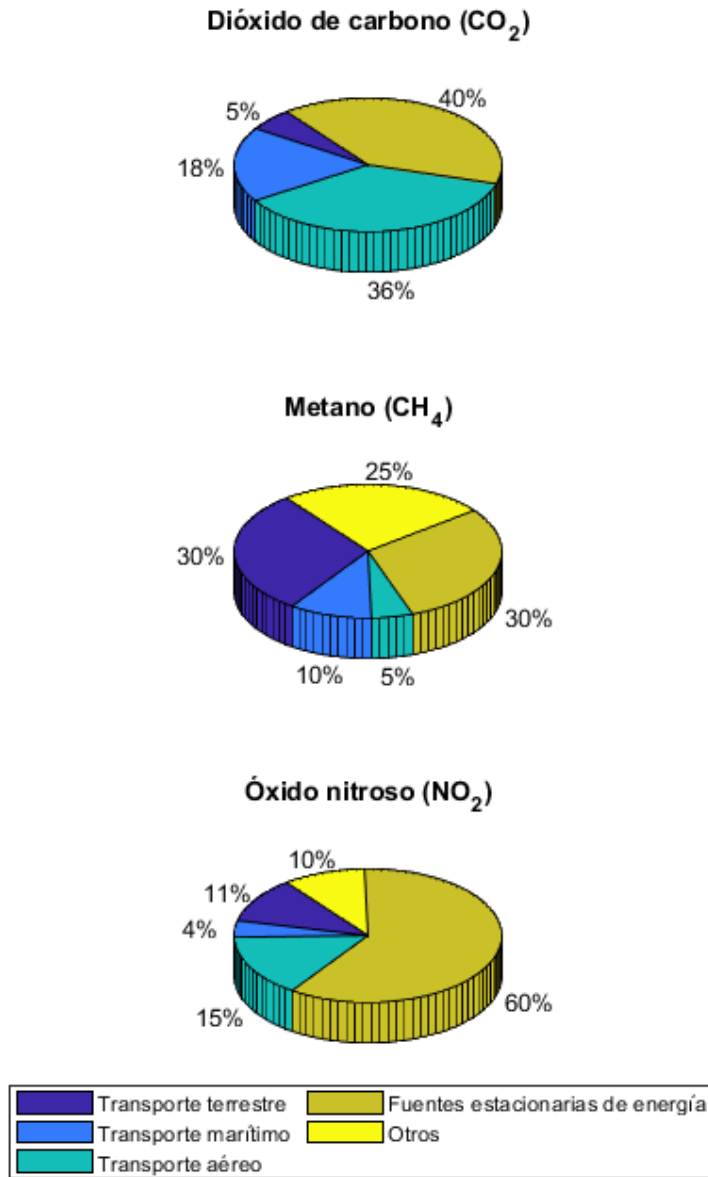


Figura 18. Distribución de porcentajes de emisiones de gases de efecto invernadero en 2020 en las Islas Galápagos.

Fuente: Elaboración propia.

Hacia 2020, las trayectorias descritas por las emisiones anuales en el archipiélago de Colón son caracterizadas por un marcado crecimiento. Este incremento es evaluado en toneladas equivalentes de carbono (CO₂) originadas en fuentes de energía estacionarias; fuentes de energía móviles (sistemas de movilidad aéreos y terrestres); y, tratamientos de residuos.

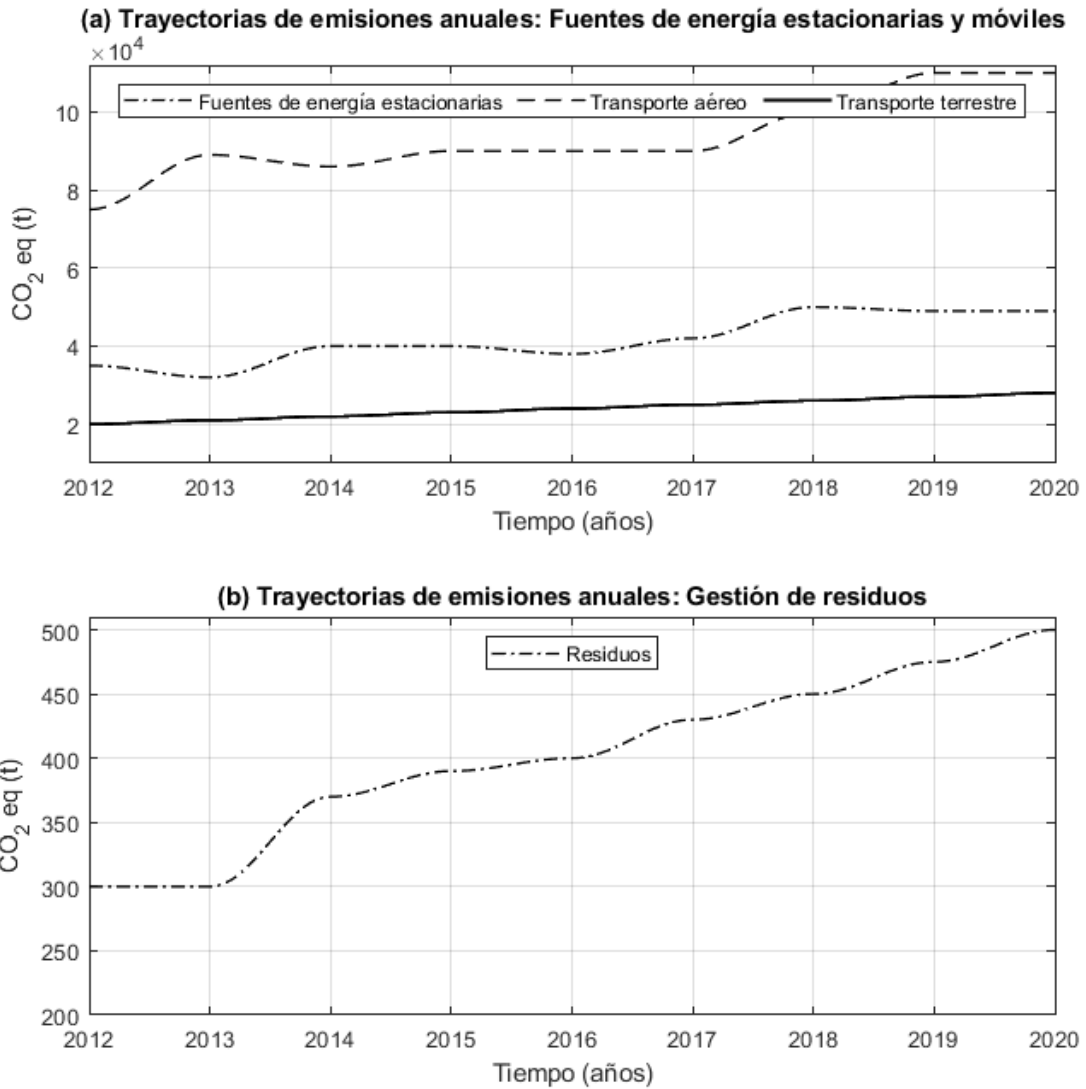


Figura 19. Emisiones de carbono anuales hasta 2020 en las Islas Galápagos: (a) Fuentes de energía estacionarias y móviles; (b) Residuos.

Fuente: Elaboración propia.

Bajo este análisis, durante 2020 surgió un poderoso pretexto causante de encierros multitudinarios: Pandemia por COVID 19. Las actividades humanas sustentadas en el requerimiento de combustibles fósiles decayeron notoriamente. Esto, fue traducido en la reducción de los niveles de ozono en la atmósfera hasta niveles históricos; no obstante, este encierro global fue únicamente un paliativo frente a la crisis climática que enfrenta nuestro planeta, puesto que, aquella reducción del 2% lentamente está ascendiendo a sus cifras anteriores. Es decir, bastaron un par de meses para que el daño atmosférico fuera restablecido.

La figura expuesta a continuación ilustra la notable reducción de emisiones de contaminantes durante 2020; y, su evolución post – pandemia en Ecuador, y en la región insular de Galápagos.

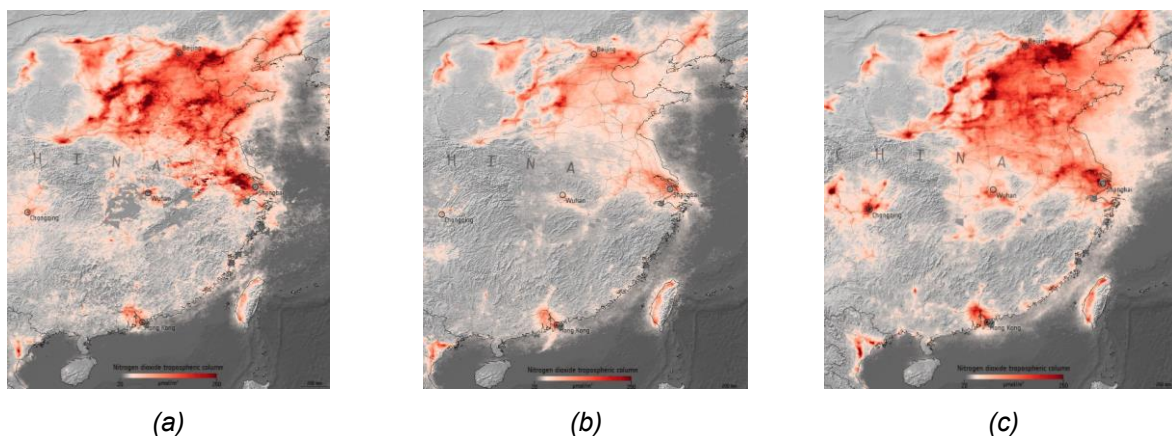


Figura 20. Emisiones de dióxido de nitrógeno a gran escala: (a) 2019; (b) 2020; (c) 2021.

Fuente: Copernicus Sentinel-5P Tropospheric Nitrogen Dioxide.

En condiciones similares, sucede a nivel nacional (Ecuador) y en la región insular de Galápagos. Los índices de gases contaminantes experimentaron una reducción durante pandemia. Sin embargo, posterior a ella, los niveles han incrementado.

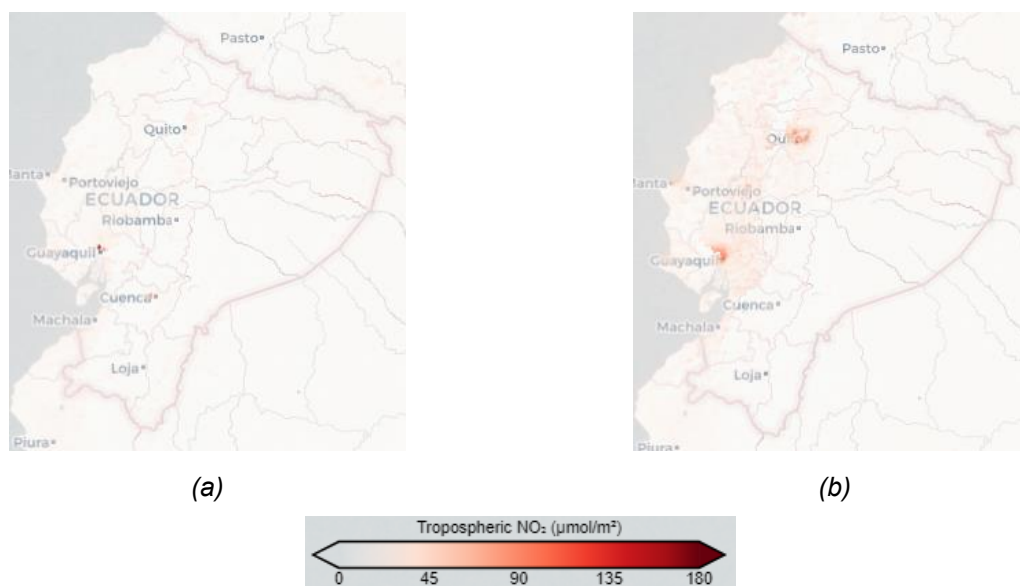


Figura 21. Emisiones de dióxido de nitrógeno en Ecuador: (a) 2020; (b) 2023.

Fuente: Copernicus Sentinel-5P Tropospheric Nitrogen Dioxide.

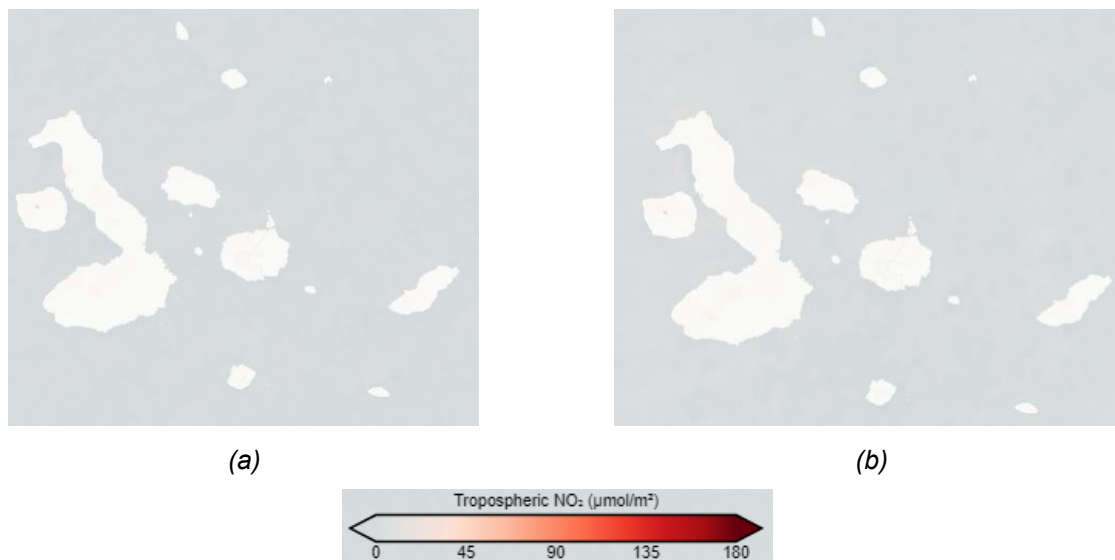


Figura 22. Emisiones de dióxido de nitrógeno en las Islas Galápagos: (a) 2020; (b) 2023.

Fuente: Copernicus Sentinel-5P Tropospheric Nitrogen Dioxide.

Las emisiones en las Islas Galápagos, en cierto modo, podrían resultar tenues. Sin embargo, este estudio pretende preservar este ambiente de sensibles características.

Paralelamente, bajo el concepto de año base, resulta importante conocer la infraestructura existente en este caso de estudio. La tabla adjunta, expone las plantas de generación eléctrica existentes en la región insular de Galápagos.

Tabla 5. Plantas de generación eléctrica en las Islas Galápagos.

Isla	Tipo	Capacidad	Características
Isabela	Térmica	2.63 MW	Siete generadores diésel.
	Fotovoltaica	0.95 MW	3024 módulos fotovoltaicos de 315 W cada uno. Inversores de potencia de 500 kW cada uno (2). Sistema de almacenamiento de energía por batería de 333 kWh / 660 kW.
	Fotovoltaica	0.01 MW	Sistema aislado.
Santa Cruz	Térmica	11.5 MW	Ocho generadores diésel.
	Fotovoltaica "Puerto Ayora"	1.52 MW	6006 paneles de 250 W cada uno. 91 inversores de potencia de 17 kW cada uno.
	Fotovoltaica	0.01 MW	Sistema aislado.
Floreana	Térmica	0.16 MW	Tres generadores diésel.

	Fotovoltaica "Perla"	0.02 MW	209 módulos fotovoltaicos de 100 W cada uno.
			Dos inversores de potencia de 10 kW cada uno.
			Sistema de almacenamiento de energía en baterías compuesto por cuatro bancos de baterías de 96 kWh cada uno.
	Fotovoltaica	0.01 MW	Sistema aislado.
San Cristóbal	Térmica	4.6 MW	Seis generadores diésel.
	Eólica	2.4 MW	Tres turbinas eólicas de 0.8 MW cada una.
	Autoabastecimiento	0.038 MWh	Sistema de baterías para almacenamiento de energía de 34.2 MWh.
	Fotovoltaica	1.0 MW	Sistema de baterías para almacenamiento de energía de 2.2 MWh.
Baltra	Eólica	2.25 MW	Tres turbinas eólicas de 0.8 MW cada una.
	Fotovoltaica	0.068 MW	252 paneles solares de 267 W cada uno.
			Un inversor de potencia de 100 kW.
			Sistema de almacenamiento de energía en baterías de 1 MWh: Plomo – ácido: 500 kWh; y, litio – ion: 500 kWh.

Fuente: ELECGALÁPAGOS.

Estas plantas de generación satisfacen la demanda energética, puesto que, la energía disponible en el sistema de distribución existente en esta región cubre sus necesidades a cabalidad. Sin embargo, esta demanda de electricidad es cubierta en mayor porcentaje por fuentes de energía no renovable. Esto, evidencia la necesidad de establecer modelos de transición hacia fuentes de energía renovable.

Tabla 6. Plantas de generación y su capacidad en las Islas Galápagos.

Centrales de energía renovable			Centrales de energía no renovable			Total		
Cantidad	Potencia nominal (MW)	Potencia efectiva (MW)	Cantidad	Potencia nominal (MW)	Potencia efectiva (MW)	Cantidad	Potencia nominal (MW)	Potencia efectiva (MW)
10	7.27	7.27	4	24.29	21.14	14	31.56	28.38

Fuente: ARCERNR.

Tabla 7. Energía disponible en el sistema de distribución de las Islas Galápagos.

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Energía (GWh)	39.13	39.39	45.87	52.51	51.76	54.01	55.96	60.65	53.94	54.35

Fuente: ARCERNNR.

Es evidente que, en el contexto actual, las fuentes de energía no renovable cubren los niveles de demanda energética en mayor porcentaje. Consecuentemente, existe una marcada dependencia hacia combustibles fósiles. La matriz energética de las Islas Galápagos es expuesta a continuación en forma gráfica:

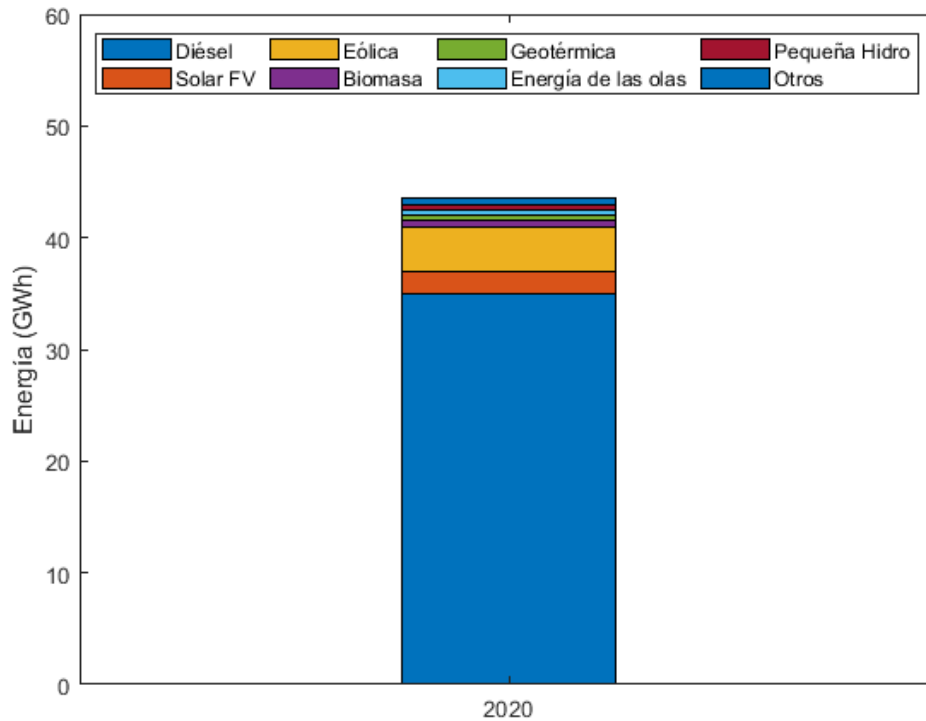


Figura 23. Mix energético correspondiente a las Islas Galápagos: Año base.

Fuente: Systematic long-term planning of 100% renewable energy to 2050 in Heritage cities: Unified case study of the City of Cuenca and the Galapagos Islands in Ecuador.

Siendo 2020, el punto de referencia y año base para evaluar y descarbonizar las Islas Galápagos, resulta pertinente proyectar su matriz energética hacia 2040 y años posteriores. Esta

proyección prioriza la introducción de fuentes de energía renovable y reduce la dependencia de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

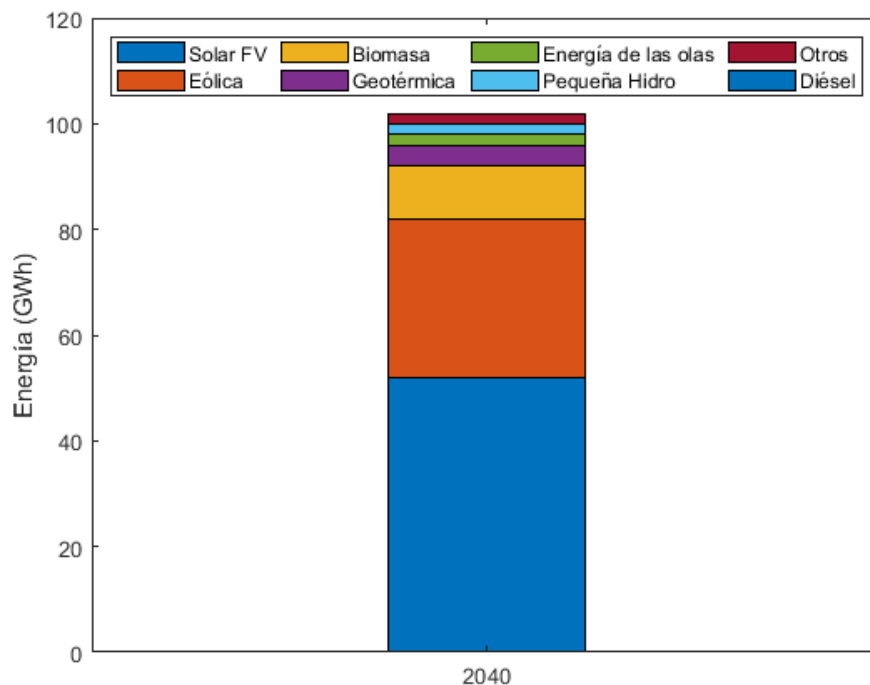


Figura 24. Mix energético proyectado hacia 2040.

Fuente: *Systematic long-term planning of 100% renewable energy to 2050 in Heritage cities: Unified case study of the City of Cuenca and the Galapagos Islands in Ecuador.*

Para este análisis, el año base parte en 2020, puesto que, adquiere un sensible significado tras la pandemia experimentada y la reducción de la huella de carbono evidenciados tras el encierro masivo de personas y el freno industrial a escala global. Este año creó un punto de inflexión referente a la descarbonización de entornos ambientales sensibles. Evidencia de aquello es que, durante 2020, la industria turística en las Islas Galápagos perdió 73% de visitantes. Esto significó un golpe económico para la región, pero, análogamente, preservó este valioso ecosistema de la huella humana. Y aunque, actualmente (2023) la cifra turística ha ascendido a 99%, es necesario implementar medidas y normativas destinadas a mantener y reducir las emisiones de gases contaminantes.

4.2. Análisis del consumo energético y emisiones de carbono en las Islas Galápagos

Los asentamientos humanos existentes en el archipiélago de Colón crecen 1.8% anualmente; y, reflejan un evidente incremento de consumo eléctrico. La Agencia de Regulación y Control de

Electricidad (ARCONEL) detalla que el sector eléctrico correspondiente a las Islas Galápagos está compuesto por cuatro sistemas de generación situados en: Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana.

Bajo un punto de vista operativo, es posible diferenciar tres periodos de producción de energía eléctrica: Los periodos uno y dos implican un notable riesgo de contaminación ambiental, puesto que, son caracterizados por un amplio empleo de combustibles fósiles transportados vía marítima. En tanto que, el periodo tres presenta la iniciativa “*Cero combustibles fósiles*” en la región insular de Galápagos, cuya puesta en escena, radica en implementar fuentes de energía renovable, incrementar los índices de eficiencia energética y valorar la implementación de sistemas de transporte sostenible.

Tabla 8. Capacidad instalada en las Islas Galápagos.

Isla	Termoelectricidad - kW (Diésel)	Energía renovable (kW)			Total (kW)
		Biocombustible	Energía eólica	Energía solar	
San Cristóbal	9450	-	2400	12	11862
Santa Cruz	14950	-	2250	1575	18755
Isabela	3250	-	-	930	4180
Floreana	-	138	-	26	164
Baltra	-	-	2250	66.78	2316.78
Total	27650	138	6900	2609.78	37297.78

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER.

La tabla previamente expuesta denota una marcada dependencia en el empleo de diésel para los procesos de generación eléctrica (3000000 de galones). Setenta y cuatro por ciento (74%) de energía eléctrica generada en esta región halla origen en combustibles fósiles. En tanto que, el porcentaje restante (26%) es producido por fuentes de energía renovables: Eólica, solar y biocombustibles.

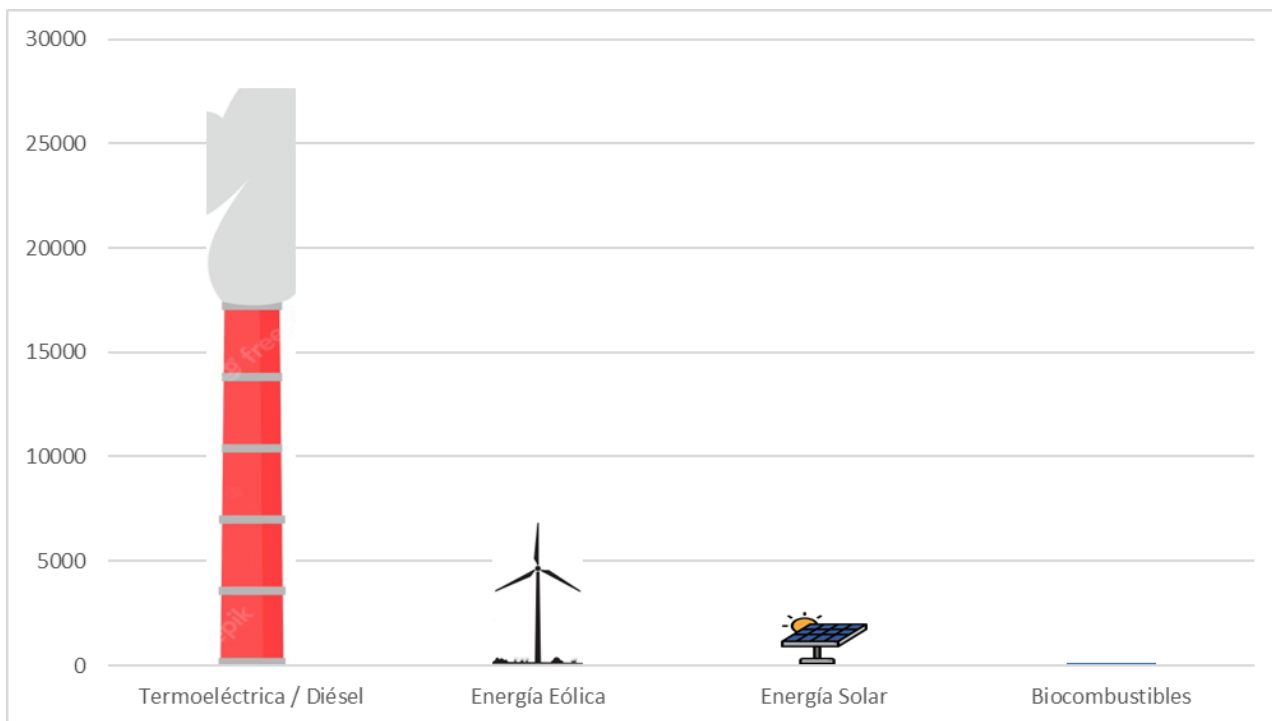


Figura 25. Matriz energética correspondiente a las Islas Galápagos.

Fuente: Plan Maestro de Electricidad.

El Plan Maestro de Electrificación registra una reducción cercana a 26.7 miles de toneladas de emisiones de carbono en este archipiélago. Esto, en valores económicos netos, implica ahorros de 2.73 millones de dólares. En adición, esta herramienta proyecta un incremento de 28.5 MW (Megavatios) proveniente de fuentes de energía renovables: Energía solar (14 MW); energía eólica (13 MW); y, biocombustibles (1.5 MW).

El archipiélago de Galápagos es un notable consumidor energético per cápita. En años anteriores su consumo ha ascendido a 47.00 GWh (Gigavatios por hora), empleando el 87% de su disponibilidad energética (53.79 GWh).

Este consumo es diversificado en 11234 usuarios: 8825 consumidores residenciales; 1834 consumidores comerciales; 178 consumidores industriales, 28 áreas de iluminación pública; y, 369 para otros propósitos. Dichas cifras representan un incremento poblacional de 40% en relación con la década pasada.

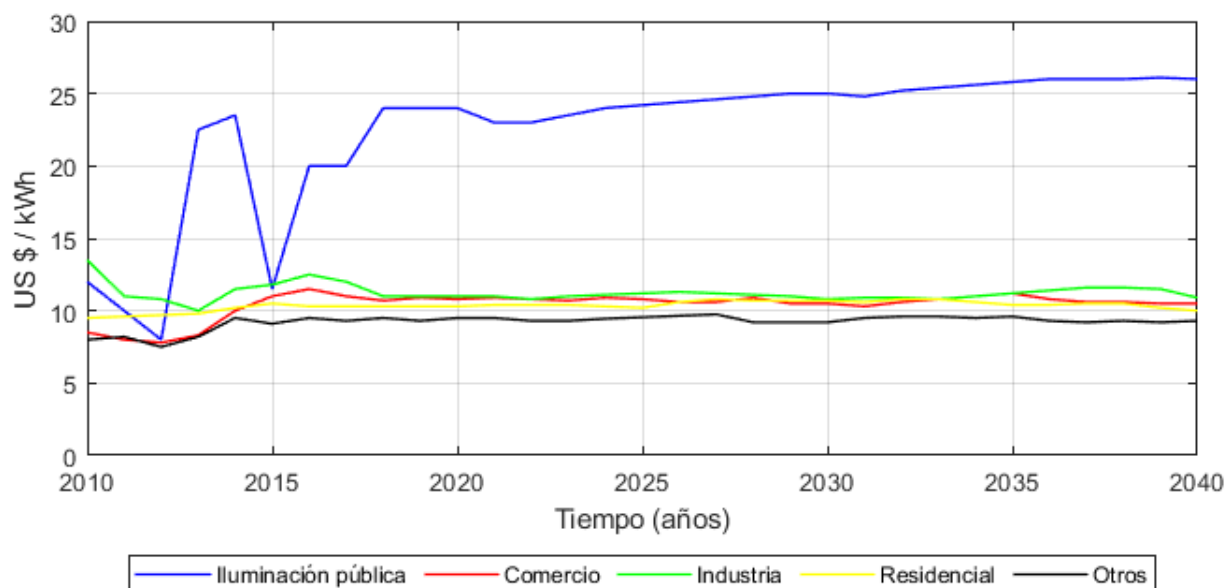


Figura 26. Costo promedio por consumo entre sectores.

Fuente: ARCONEL.

Los periodos de consumo eléctrico son susceptibles de variación dada la influencia de factores climatológicos; y, el archipiélago de Colón no es la excepción.

Durante el periodo comprendido por febrero y marzo, el consumo eléctrico puede ascender a 49.46 GWh. En abril, su pico máximo de consumo puede incrementar 5.38 GWh; en tanto que, en diciembre es posible registrar demandas inferiores (3.41 GWh), pues, durante este mes inicia la temperatura húmeda, caracterizada por su clima caliente y lluvioso. Bajo esta línea, durante el segundo semestre anual, la temporada seca disminuye la demanda energética, dado que, la región experimenta climas fríos.

En consecuencia, los índices proyectados de demanda energética en este archipiélago experimentarían un notable crecimiento. Hacia 2040 el consumo y demanda de energía eléctrica incrementaría 42% (53.79 GWh a 76.40 GWh). Este crecimiento involucraría los centros de generación ubicados en Isla Isabela (su demanda incrementaría 82.34%), Santa Cruz (sus valores de consumo energético crecerían 47.51%), San Cristóbal (sus índices de demanda de energía eléctrica incrementarían 13.66%) y Floreana (incremento leve de 7.94%).

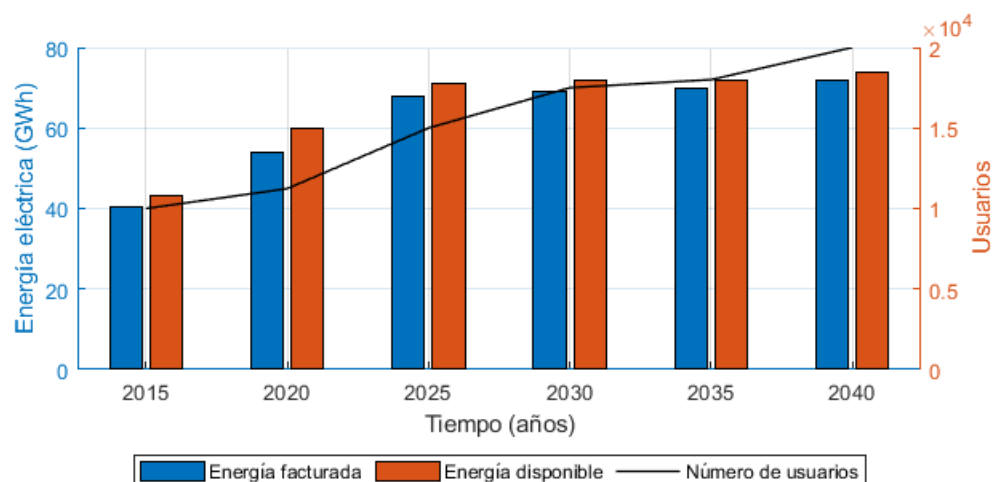


Figura 27. Demanda de energía eléctrica y número de usuarios.

Fuente: CONELEC, MEER.

El sistema eléctrico de distribución y transmisión existente en las Islas Galápagos posee 9 subestaciones (8 transformadores elevadores, 1 transformador reductor), cuya capacidad asciende a 41.3 MVA (Megavolt-amperes) distribuidos a lo largo de 51.47 km con líneas de transmisión de 69 kV (Kilovoltios). Su red de distribución está estructurada por 268.52 km correspondientes a medio voltaje; 207.28 km destinados a líneas en bajo voltaje; 854 transformadores; y, 11221 dispositivos de medición.

Tabla 9. Infraestructura del sistema de distribución de las Islas Galápagos.

Líneas de medio voltaje				
Voltaje	Longitud			Total
	Red monofásica	Red bifásica	Red trifásica	
13.2 kV	108.05 km	0	38.57 km	146.62 km
13.8 kV	78.81 km	0	43.09 km	121.90 km
Líneas de bajo voltaje				
Voltaje	Longitud			Total
	Red monofásica	Red bifásica	Red trifásica	
-	189.62 km	1.06 km	16.61 km	207.28 km
Transformadores eléctricos				
Clase	Monofásicos	Bifásicos	Trifásicos	Total
No.	718	0	136	854
Capacidad	18.46 MV	0	10.52 MV	28.97

Dispositivos de medición				
Clase	Monofásicos	Bifásicos	Trifásicos	Total
No.	1157	9859	205	11221

Fuente: MEER, ARCONEL, ELECGALÁPAGOS.

El crecimiento demográfico experimentado en esta región proyecta un incremento correspondiente a sus sistemas de distribución y transmisión para los años posteriores. Las líneas de medio voltaje ascenderán a 320 km, en tanto que, los conductores en bajo voltaje ascenderán a 370 km; y, en adición, 350 transformadores y 4000 dispositivos de medición serán implementados a los puntos existentes.

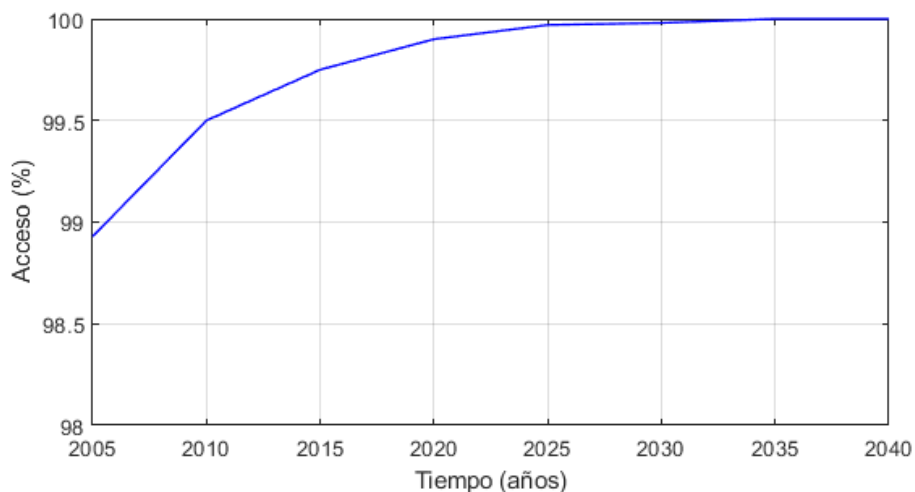


Figura 28. Acceso existente y proyectado a los servicios eléctricos en Galápagos.

Fuente: ARCONEL.

El marco normativo ecuatoriano pretende dotar un excelente sistema de energía eléctrica en el archipiélago de Colón, garantizando un acceso total a este servicio. En este contexto, los conceptos inherentes a eficiencia energética deben ser acoplados en esta región, promocionando el uso racional de energía. Han existido iniciativas destinadas a reducir la huella de carbono derivada de la actividad humana en la región insular de Galápagos. El programa RENOVA reemplazó 1109 refrigeradoras, esto generó un ahorro energético de 137.71 MWh anuales y evitó la emisión de 602.67 toneladas de carbono. La segunda etapa de esta iniciativa se halla en desarrollo; y, consiste en reemplazar refrigeradores domésticos y equipos de aire acondicionado en zonas residenciales y hoteleras, generando un ahorro de 2342 kWh.

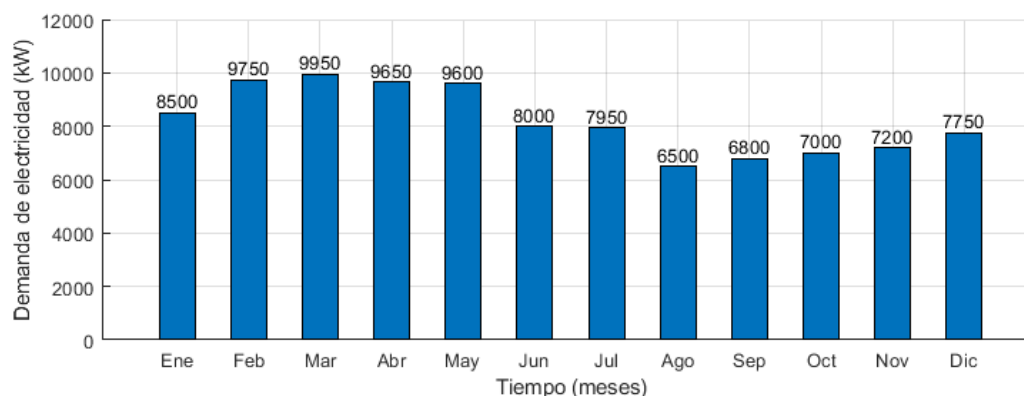


Figura 29. Consumo energético mensual aproximado.

Fuente: Balance energético de las Islas Galápagos.

Bajo este contexto, el Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE), enfocados en conceptos de uso eficiente de energía, ha reemplazado el común de lámparas incandescentes con bombillas de bajo consumo. Esto implica un ahorro energético de 400 MWh, y evita la emisión de 268 toneladas de CO_2 .

En 2012, mil doscientos cincuenta luminarias ineficientes empleadas en puntos de iluminación pública fueron reemplazadas, significando ahorros energéticos de 109.50 MWh y la reducción de 73.36 toneladas de carbono. Adicionalmente, Japón donó 189 luminarias LED distribuidas en las islas San Cristóbal, Santa Cruz e Isabela. Esto, representó ahorros de energía totales de 91.10 MWh / año; y, fue traducido en la reducción de 7000 galones de combustible diésel anuales, impidiendo la emisión de 50.99 toneladas de carbono.

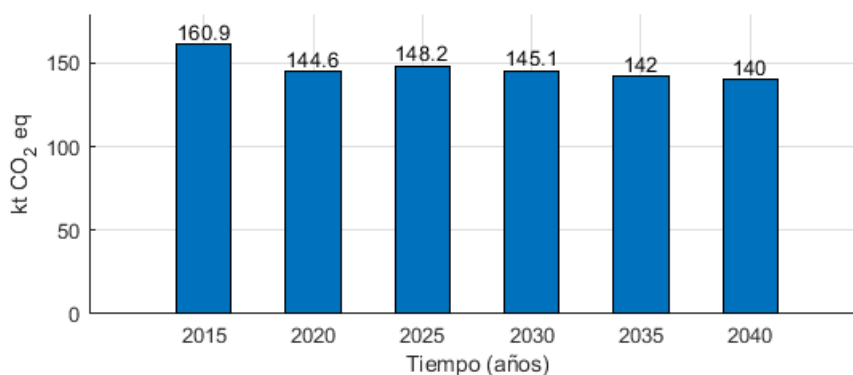


Figura 30. Emisiones de carbono.

Fuente: Balance energético de las Islas Galápagos.

4.3. Modelado y simulaciones: Evaluación de escenarios de descarbonización

Los procesos de modelado de un sistema energético guardan una amplia complejidad en su haber, puesto que, intervienen ciertos factores durante su ejecución: Múltiples tomadores de decisiones, variación en el comportamiento de sus usuarios finales, sistemas de retroalimentación entre los módulos existentes; y, limitaciones tecnológicas.

Bajo el análisis correspondiente a las emisiones de carbono y consumo de energía y sus respectivas proyecciones, resulta imperante evaluar los orígenes de las emisiones de carbono en industrias primarias en diversos escenarios de producción y exportación. Lo anterior mencionado, puede ser ejecutado en áreas urbanas y regiones aisladas.

La identidad de Kaya (Kaya & Yokobori, 1997) denota que el nivel de carbono emitido, resultado del actuar humano, reside en cuatro variables analizadas a escala global:

$$CO_2 = P * \frac{PIB}{P} * \frac{E}{PIB} * \frac{CO_2}{E}, \quad (1)$$

Donde:

P , población.

$\frac{PIB}{P}$, ingreso per cápita.

$\frac{E}{PIB}$, intensidad energética.

$\frac{CO_2}{E}$, emisiones de carbono respecto al consumo de energía.

Analíticamente, la expresión previamente definida indica que las emisiones de carbono resultan proporcionalmente directas a los índices de población, su ingreso per cápita, la intensidad de consumo de energía; y, los niveles individuales de emisiones de CO_2 . En consecuencia, el uso eficiente de energía y el diseño de políticas energéticas y ambientales en una nación reducirían la huella de carbono existente.

En conceptos históricos, la matriz energética primaria de Ecuador es predominantemente petrolera. Esto ha permitido satisfacer la demanda de energía existente; y, bajo líneas económicas, ha representado importantes ingresos para la nación. Sin embargo, aquellas economías, cuya producción halla dependencia en combustibles fósiles generará mayores

rangos de emisiones de carbono. Tras esto, el índice de carbonización de una región constituye aquellas emisiones de CO_2 por unidad de energía consumida.

La figura expuesta a continuación, denota aquellas variables capaces de determinar la cantidad de emisiones de carbono en este caso de estudio. Esto permitirá comprender la variación de CO_2 a través del tiempo.

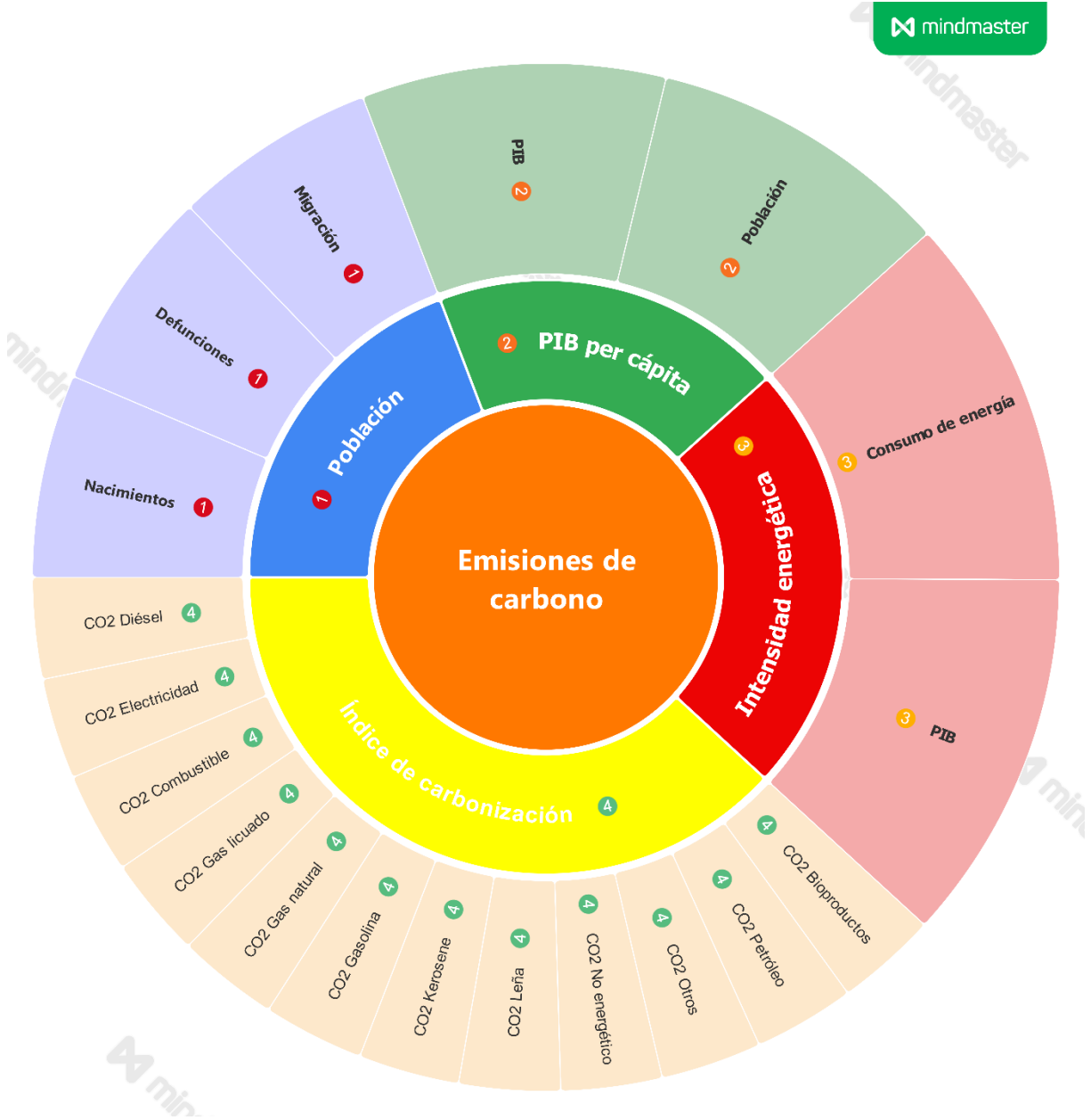


Figura 31. Causales para proyectar emisiones de carbono.

Fuente: Revista "Espacios".

Tras definir las emisiones de CO_2 , resulta necesario acentuar la acepción correspondiente a índice de carbonización. Ecuador está constituido por una matriz energética estructurada en energías que emplean combustibles fósiles y fuentes renovables. Ahora, el índice de carbonización está definido por la expresión descrita a continuación:

$$ICO_2 = \sum_i (\%E_i)(FC_i), \quad (2)$$

Donde:

ICO_2 , índice de carbonización.

$\%E_i$, porcentaje por fuente de energía.

FC_i , factor de conversión por fuente de energía.

Inmersos en nuestro caso de estudio, el archipiélago de Galápagos posee un notable e innegable potencial diversificado en energía eólica y generación solar detalladas en las líneas desarrolladas a continuación.

La infraestructura existente en las Islas Galápagos permite absorber energía solar y eólica con cierta facilidad. El crecimiento y demanda de energía es evidente; y, ello, ha potenciado la implementación de fuentes de energía renovable (16%). El sistema eléctrico implementado en esta región dota cubre su demanda energética en un amplio porcentaje y muy cercano a 100%, adicionalmente, su porcentaje de pérdidas es el más bajo existente en la nación ecuatoriana, puesto que, representan únicamente el 7%.

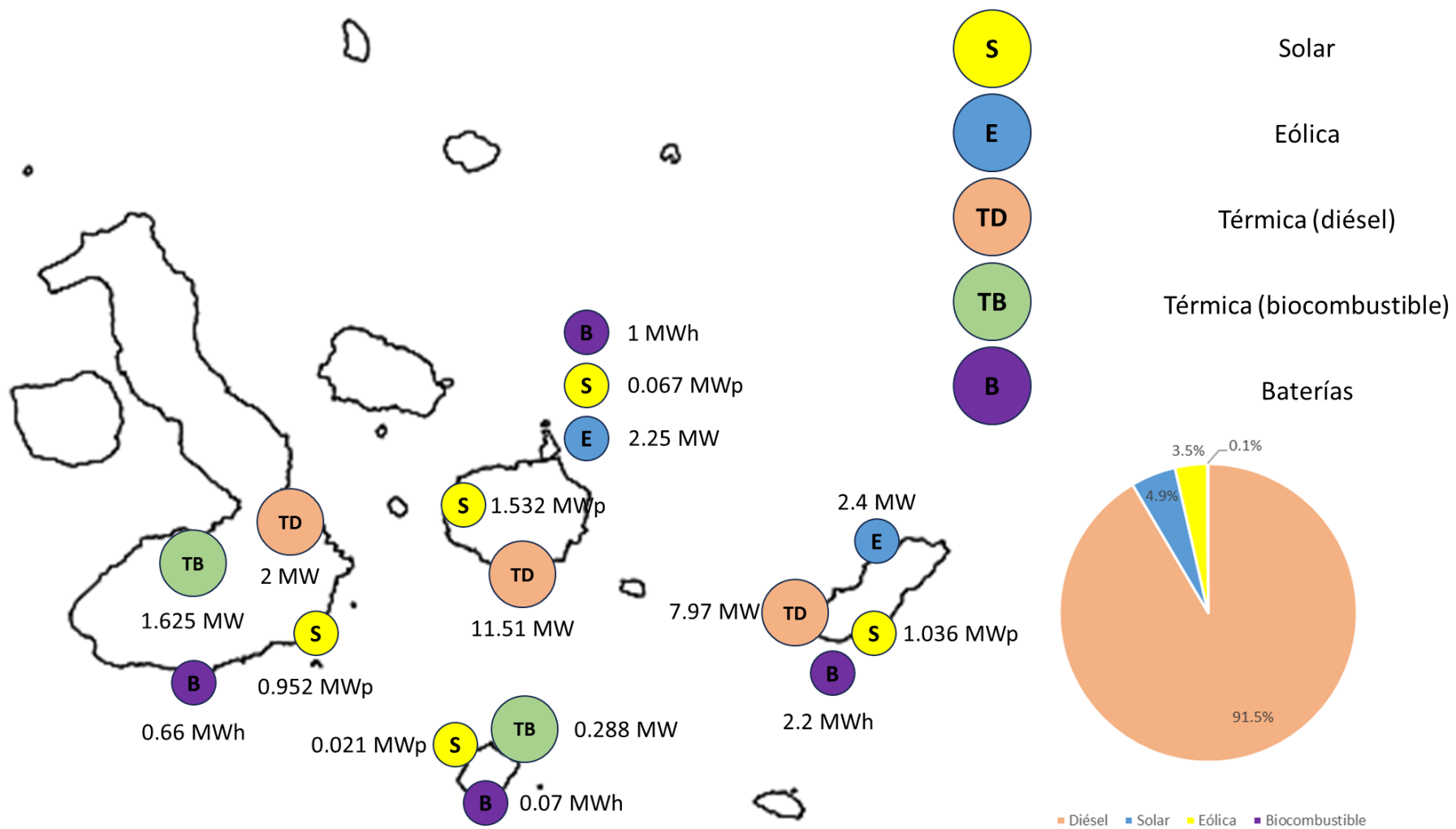
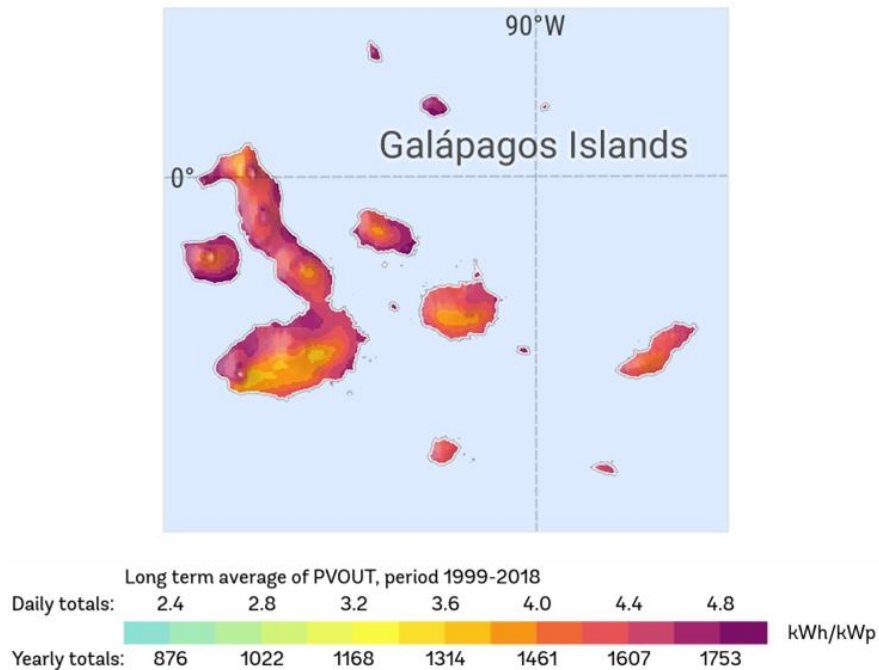


Figura 32. Mapa de centrales eléctricas e instalaciones de baterías en las Islas Galápagos.

Fuente: Elaboración propia.

La irradiación solar existente en esta región está comprendida por el intervalo [1131 - 2191] $\frac{kWh}{m^2}/año$, en tanto que, la potencia fotovoltaica media asciende a 4.91 kWh diariamente. No obstante, sus recursos eólicos también resultan altamente significativos en diversas áreas terrestres y zonas costeras, puesto que, a una altura de 10 metros la potencia media es de $116 \frac{W}{m^2}$, mientras que, si altura asciende a 50 metros, la potencia incrementa a $233 \frac{W}{m^2}$. Es evidente que la región insular de Galápagos posee recursos eólicos y solares en gran escala; y en menor escala, energía geotérmica.



Nota: Mapa generado el día 09 de agosto de 2023.

Figura 33. Potencial de energía fotovoltaica en las Islas Galápagos.

Fuente: Atlas Solar Global (Solargis).

Bajo los conceptos inherentes a energía solar, el potencial fotovoltaico correspondiente a un sistema es definido por la expresión:

$$P_{PV} = Y_{PV} \times f_{PV} \left(\frac{I_T}{I_S} \right) [1 + \alpha_P \times (T_C - T_S)], \quad (3)$$

P_{PV} , salida de potencia del módulo fotovoltaico [kW].

Y_{PV} , capacidad nominal del conjunto fotovoltaico [kW].

f_{PV} , factor de reducción de potencia fotovoltaica [%].

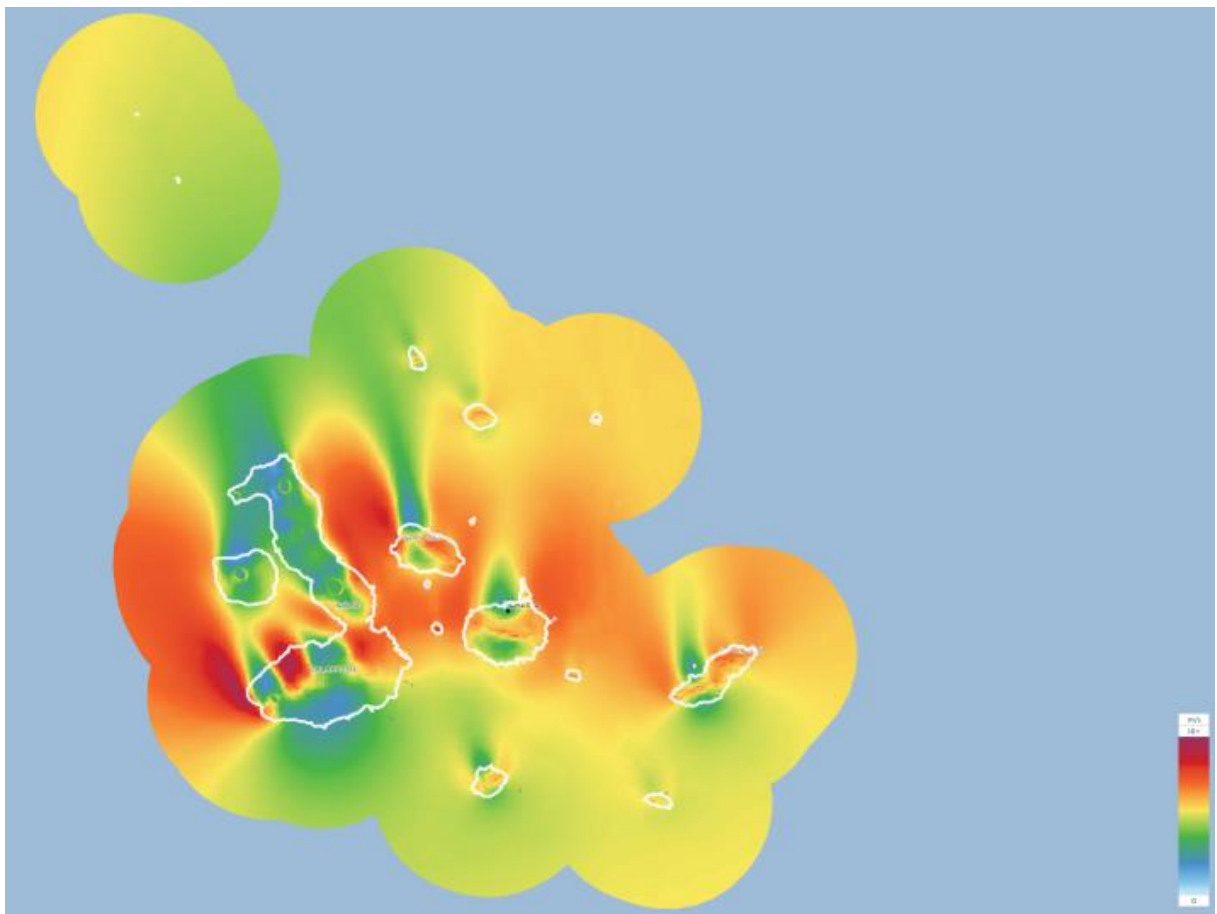
I_T , corriente fotovoltaica generada por la radiación incidente en la celda solar [A].

I_S , corriente inversa de saturación del diodo [A].

α_p , coeficiente de temperatura de potencia [$\%/^{\circ}\text{C}$].

T_C , temperatura de la celda en el arreglo fotovoltaico [$^{\circ}\text{C}$].

T_S , temperatura de la celda bajo condiciones estándares [$^{\circ}\text{C}$].



Nota: Mapa generado el 09 de agosto de 2023.

Figura 34. Potencial de energía eólica en las Islas Galápagos.

Fuente: Global Wind Atlas.

Ahora, el potencial correspondiente a una turbina eólica está representada por la expresión detallada a continuación:

$$P_{WT} = \eta_{rec} \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot C_{\rho max} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3, \quad (4)$$

R, potencia de salida del aerogenerador [kW].

R, eficiencia del rectificador del sistema eólico [%].

R, coeficiente de potencia máxima.

R, densidad del aire [kg/m^3].

R, radio de la pala de un aerogenerador [m].

R, velocidad del viento [m/s].

Tras definir los modelos matemáticos convenientes inherentes a emisiones de carbono, índice de carbonización, energía solar y eólica, también resulta necesario evaluar cuan incidentes resultarían las energías renovables en escenarios proyectados. Por ello, es importante definir un factor renovable (F_R):

$$F_R = \left(1 - \frac{\sum P_{no\ renovables}}{\sum P_{renovables}}\right) * 100, \quad (5)$$

$$F_R = \left(1 - \frac{\sum P_{Diésel} + \sum P_{Gasolina} + \sum P_{Carbón} + \dots + \sum P_{Otras\ energías\ no\ renovables}}{\sum P_{Solar} + \sum P_{Eólica} + \sum P_{Hidro} + \dots + \sum P_{Otras\ energías\ renovables}}\right) * 100, \quad (6)$$

Donde:

$P_{no\ renovables}$, energías derivadas de la explotación de combustibles fósiles.

$P_{renovables}$, fuentes de energía renovable.

El escenario proyectado aterriza en el año 2040. Los valores procedentes de energías renovables y no renovables deben establecer un factor renovable unitario ($F_R = 1$). La energía total adicional proyectada (ETAP) puede ser representada por la expresión expuesta a continuación:

$$ETAP = \sum P_{Renovables-2040} - \left(\sum P_{Renovable\ Año\ Base} - \sum P_{No\ renovable}\right), \quad (7)$$

Esta expresión describe el escenario proyectado (2040); y, la incidencia descrita por aquellas fuentes energéticas de carácter renovable y no renovable existente en el año base (2023). Consecuentemente, las energías renovables implementadas en esta región deben satisfacer la

demanda energética en un rango de tiempo prolongado (*tiempo inicial* ≠ *tiempo proyectado*); en otros términos, la tasa de abastecimiento de energía (T_{AE}) es definido por:

$$T_{AE} = \sum_0^t \frac{P_{Renovables-2040} - P_{Demandada-2040}}{P_{Renovables-2040}}, \quad (8)$$

Donde:

$P_{Renovables-2040}$, energía renovable suministrada en el escenario proyectado.

$P_{Demandada-2040}$, carga demandada en el escenario proyectado.

Resulta evidente la relación descrita por diversas fuentes de energía y el índice de carbonización incidente en una región. Es pertinente afirmar que la actividad humana ha incrementado la huella de carbono existente en la región insular de Galápagos. No obstante, tras establecer el modelo matemático, definimos a continuación los escenarios proyectados:

Tabla 10. Escenarios proyectados en las Islas Galápagos.

Escenario	Denominación	Características
Escenario 1	BAU (Business as usual – Lo de siempre)	Fuentes de energía de carácter renovable y no renovable sin variación alguna.
		Población en crecimiento exponencial; y, en consecuencia, incremento de demanda energética.
		Emisiones de carbono en auge.
Escenario 2	Proyección 2040 (Carbono cero)	Matriz energética compartida: Fuentes de energía renovable y no renovable.
		Población en crecimiento exponencial; y, en consecuencia, incremento de demanda energética.
		Índice de carbonización: Tendencia a cero.

Fuente: Elaboración propia.

a) *Escenario 1: Escenario BAU (Business as usual – Lo de siempre):*

En proyección, la matriz energética existente en el archipiélago de Galápagos no varía hacia 2040. Esto implicaría un potencial agotamiento de combustibles fósiles destinados a la producción de energía eléctrica, puesto que, los procesos para su extracción y explotación incrementarían exponencialmente. El petróleo, gas natural y carbón serían explotados a una velocidad descomunal para tratar de satisfacer la demanda de energía existente en esta región. Ello elevaría drásticamente los niveles de emisiones de carbono.

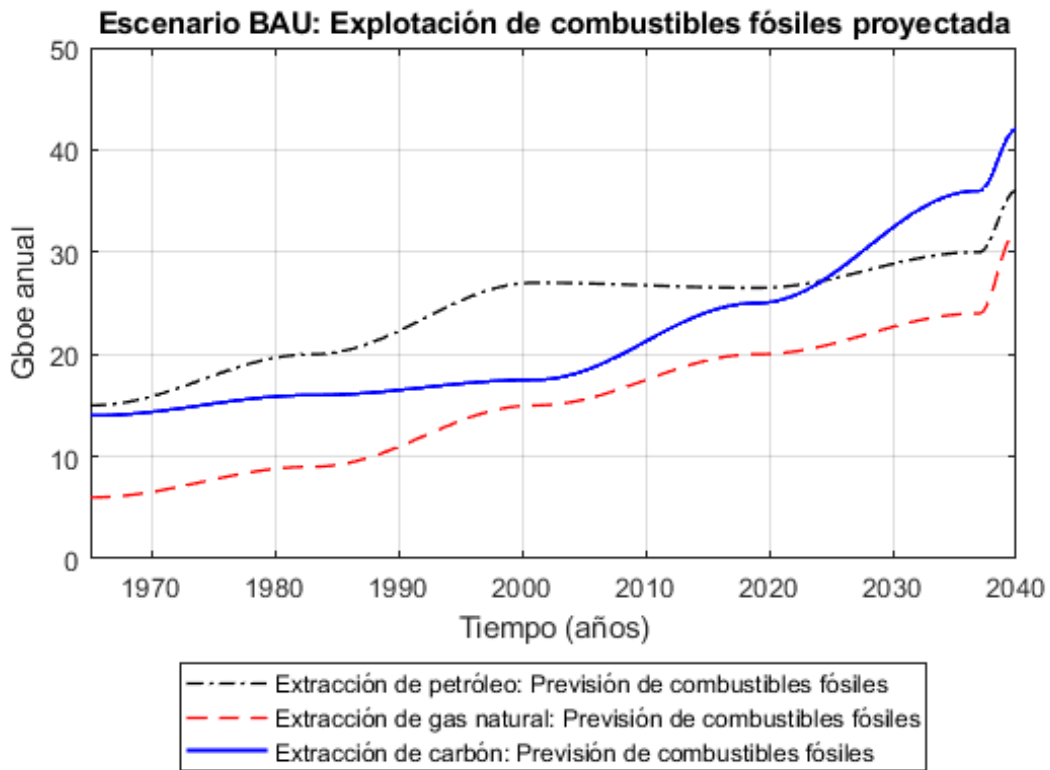


Figura 35. Explotación proyectada de combustibles fósiles.

Fuente: Elaboración propia.

El crecimiento demográfico existente en la región insular de Galápagos asciende a 1.8% anualmente. Esto es traducido en la demanda de mayores índices de consumo energético. El escenario planteado mantiene la matriz energética actual; ello, implicaría un significativo desabastecimiento en esta región. El excedente de demanda no satisfecho produciría un colapso eléctrico sin precedente.

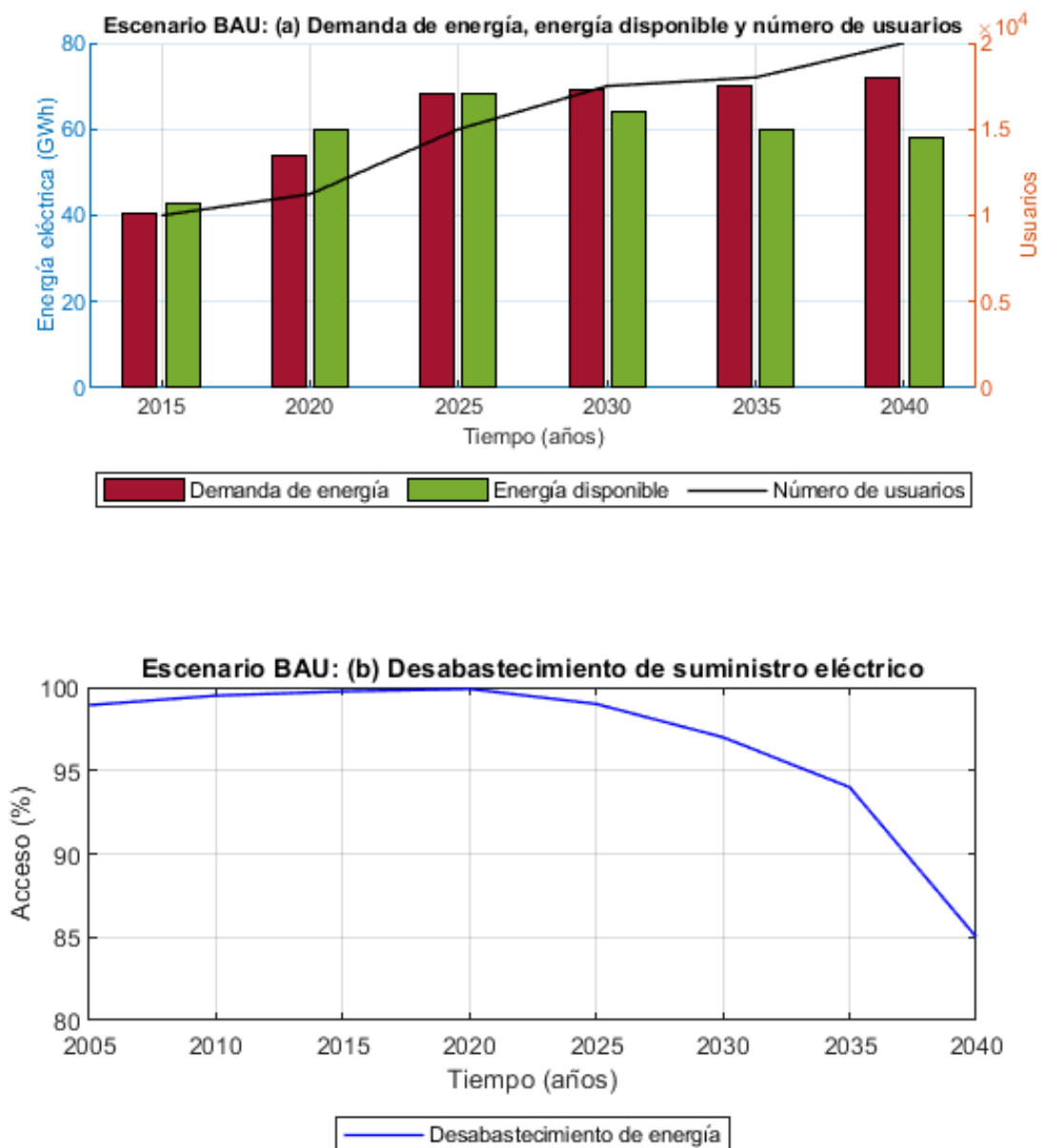


Figura 36. Crecimiento poblacional y demanda energética proyectados: (a) Demanda de energía, energía disponible y número de usuarios. (b) Desabastecimiento de suministro eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

En adición, la ausencia de políticas y normativas energéticas impulsadas a nivel local y la carencia de sistemas eficientemente energéticos dispararía el índice de carbonización a límites sumamente graves y destruiría este frágil ecosistema. La huella de carbono ascendería a escalas drásticas; y, alcanzarían un punto de no retorno e irreversible.

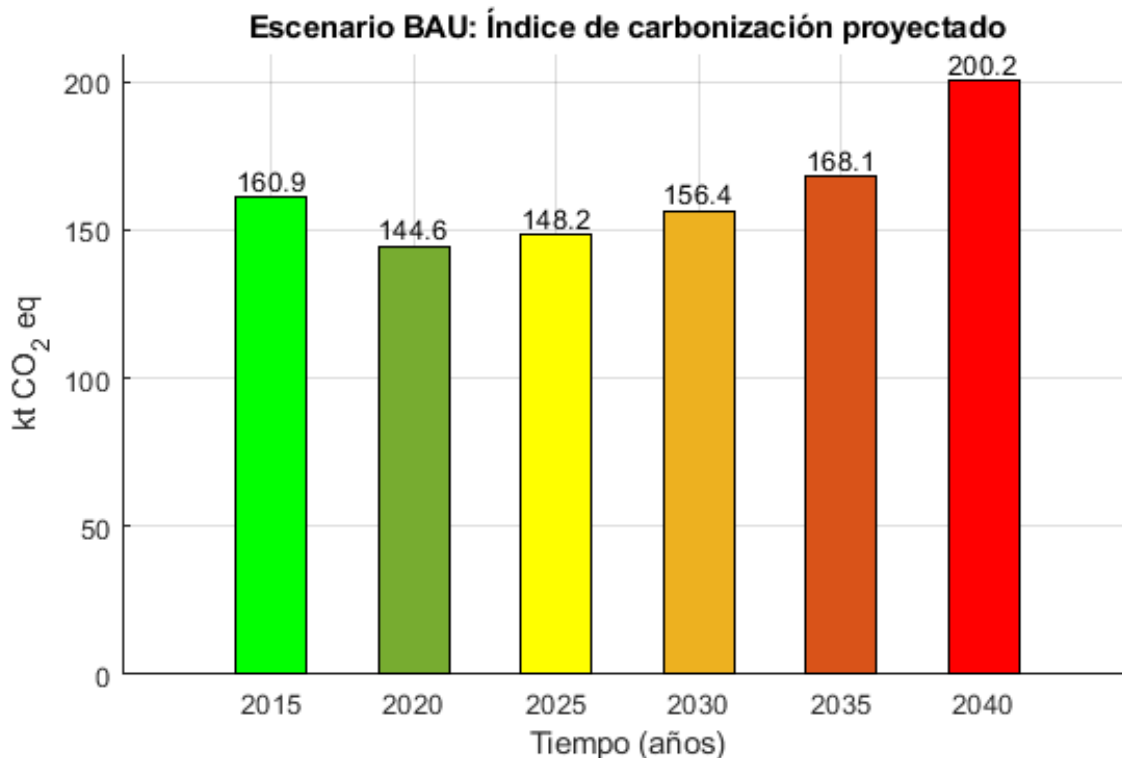


Figura 37. Índice de carbonización proyectado.

Fuente: Elaboración propia.

Es evidente que este escenario proyectado únicamente incrementaría el índice de carbonización existente en la región. Por ello, esta proyección analizada no constituye una solución viable destinada a descarbonizar la región insular de Galápagos.

b) Escenario 2: Proyección 2040 (Carbono cero):

Bajo este escenario, resulta necesario utilizar un modelo capaz de analizar sistemas energéticos inteligentes. Para tal efecto, la herramienta EnergyPLAN, desarrollada por el Grupo de Investigación de Planificación Energética Sostenible (Universidad de Aalborg, Dinamarca), integra energías renovables en sistemas energéticos a macro escala. EnergyPLAN genera combinaciones óptimas de energías renovables, proyecta sistemas de calefacción y refrigeración en ciudades inteligentes e incorpora medios de transporte sostenibles.

Las simulaciones desarrolladas son efectuadas a largo plazo, e incorporan sistemas de energía totalmente renovables; por ello, es necesario reducir gradualmente las emisiones de carbono encaminados hacia el año 2040.

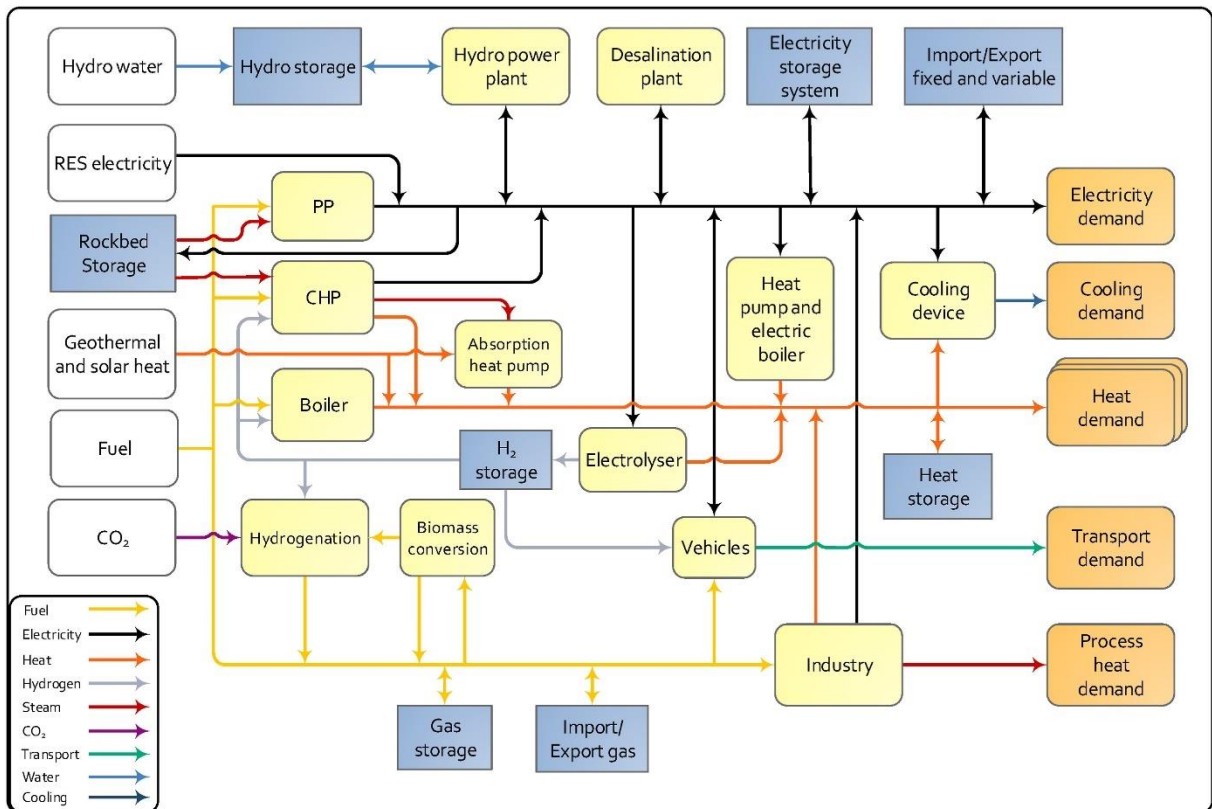


Figura 38. EnergyPLAN (versión: 16.21).

Fuente: Software EnergyPLAN.

Las simulaciones y análisis efectuados en el software EnergyPLAN, correspondientes a este caso de estudio, serán abordados en líneas posteriores.

Ahora, resulta necesario implementar modelos de transición hacia sistemas energéticos renovables y sumamente eficientes. Por ello, el ideal proyectado radica en reducir la dependencia de combustibles fósiles existentes en el archipiélago de Colón. La figura expuesta a continuación, proyecta la implementación progresiva de fuentes de energía de carácter renovable (solar, eólica, biomasa, geotérmica, mareomotriz, hidroeléctrica a pequeña escala).

En contraparte, describe la reducción de combustibles fósiles y su empleo en sistemas de generación eléctrica. Esta progresiva independencia de productos derivados de petróleo, reduciría la huella de carbono notablemente. No obstante, resulta necesario que la implementación de fuentes de energía renovable sea eficientes y sometidos a procesos de mejora continua.

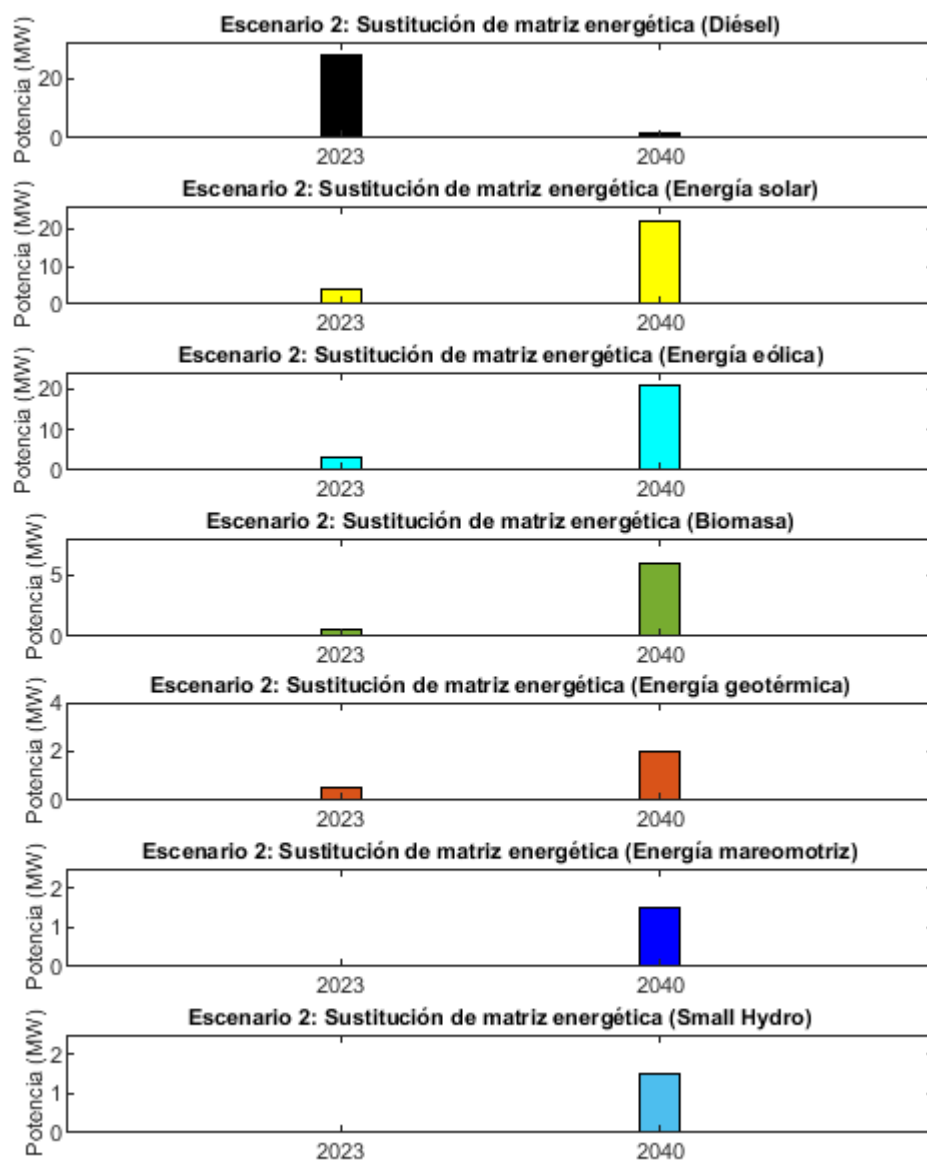


Figura 39. Proyección de potencia instalada en las Islas Galápagos por fuente de energía.

Fuente: Planificación sistemática a largo plazo de energía 100% renovable al 2050 en ciudades Patrimonio.

En aspectos demográficos, el crecimiento poblacional mantiene su exponencial incremento. No obstante, la implementación de sistemas de energía renovable en la región permitiría abastecer con suficiencia la demanda de energía eléctrica existente. Inclusive, la exigencia de mayor demanda y cobertura eléctrica podría ser satisfecha, puesto que, los índices proyectados

se hallarían caracterizados por poseer reservas energéticas. En consecuencia, el suministro eléctrico llegaría a cada punto de demanda.

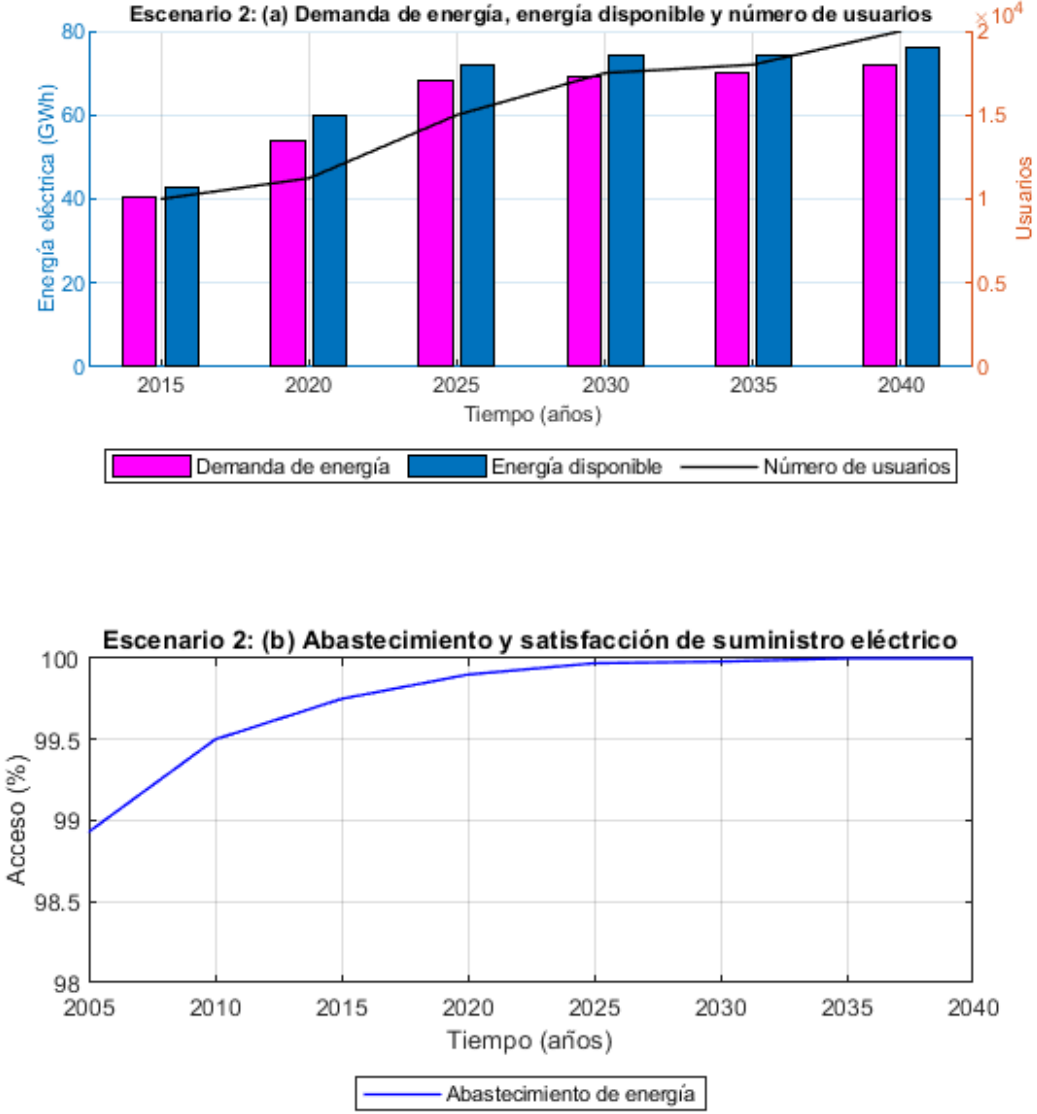


Figura 40. Crecimiento poblacional y demanda energética proyectados: (a) Demanda de energía, energía disponible y número de usuarios. (b) Abastecimiento de suministro eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

En adición, el índice de carbonización asumiría valores cercanos a cero en la región, pues, aquella dependencia de combustibles fósiles desaparecería conforme son implementados fuentes de energía renovable.

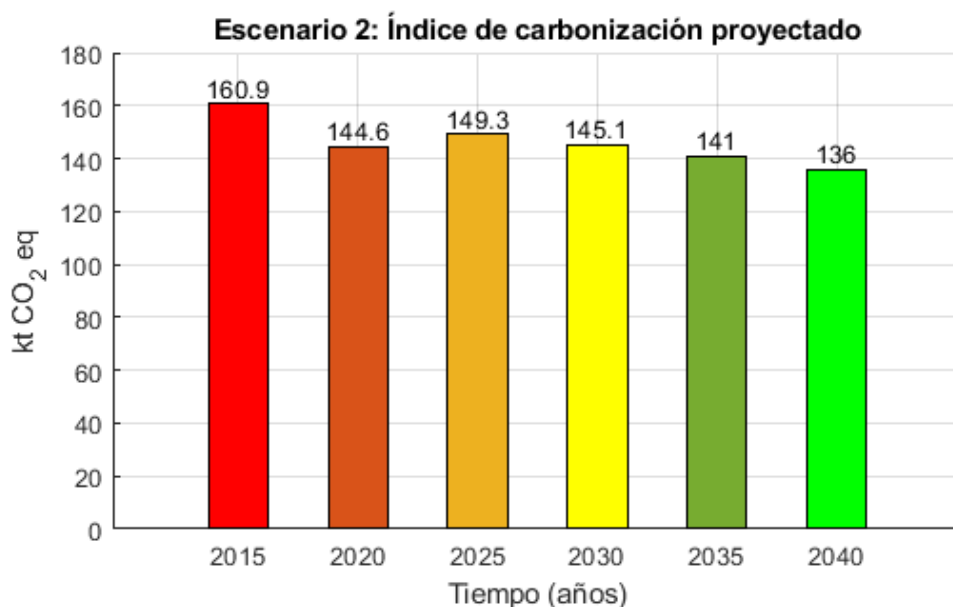


Figura 41. Índice de carbonización proyectado.

Fuente: Elaboración propia.

Resulta notorio la importancia en establecer procesos de descarbonización en la región insular de Galápagos. Los índices de carbonización derivan directamente de las actividades humanas; y, en consecuencia, incrementa los efectos originados en el cambio climático.

4.4. Plan de descarbonización para las Islas Galápagos

4.4.1. Líneas de acción estratégicas

El proceso de descarbonización de las islas Galápagos halla cimientos en la definición de directrices y enfoques claves para lograr su cometido. Las líneas de acción estratégicas definidas a continuación, constituyen un componente fundamental para orientar decisiones y actividades para reducir el índice de carbonización existente:

1. Incorporar fuentes de energía renovable, dotadas de sistemas de almacenamiento, capaces de permitir procesos de transición hacia matrices energéticas renovables en su totalidad; y, diseñar programas de eficiencia energética y gestión de demanda de energía.
2. Elaborar e implementar un eficiente plan integral inherente a sistemas de transporte y movilidad eléctrica.
3. Definir e implementar un procedimiento integral respecto a transporte marítimo hacia 2050.

Estas líneas de acción definidas previamente, responden a la hoja de ruta expuesta a continuación:

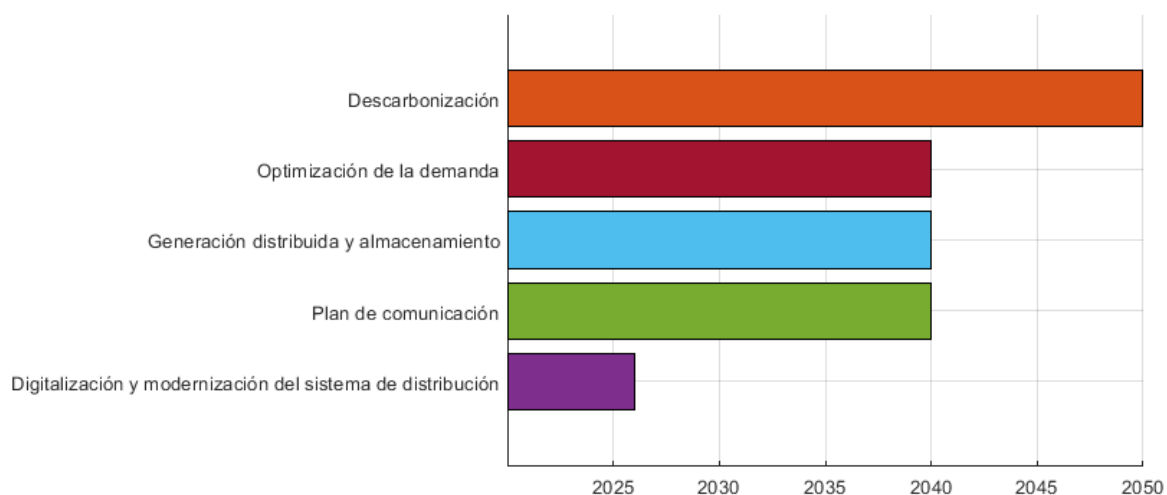


Figura 42. Hoja de ruta propuesta.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

4.4.1.1. Digitalización y modernización del sistema de distribución:

Inmersos en los procesos de digitalización y modernización del sistema de distribución existente en las Islas Galápagos, los aspectos expuestos en líneas posteriores constituyen procesos trascendentales:

1. Infraestructura eléctrica.
2. Medición sistemática e inteligente.
3. Sistemas de comunicaciones para procesos de operación: Plataforma Cloud (Datos en nube) y ciudades inteligentes.
4. Automatización de los procesos operativos.

Para digitalizar y modernizar el sistema de distribución en esta región, la inversión proyectada asciende a 34.500.000 USD diversificados como sigue:

Tabla 11. Inversión en infraestructura proyectada.

Red eléctrica	16.000.000
Comunicaciones operativas	500.000
Medidores inteligentes	8.000.000

Plataforma en nube (Cloud)	4.000.000
Ciudades inteligentes	6.000.000
Total	34.500.000

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

Resulta pertinente aclarar que esta inversión en infraestructura proyectada es referencial y afín a objetivos académicos.

1. Infraestructura eléctrica:

La infraestructura eléctrica existente demanda procesos de mejora y modernización. Para dicho fin, definimos cuatro requerimientos trascendentales:

- Robustecimiento de la topología de redes en Santa Cruz – Baltra; y, San Cristóbal.
- Digitalización de subestaciones eléctricas.
- Automatización de los sistemas de distribución (con reconectores).
- Evaluación de la capacidad de alojamiento de generación.

La infraestructura eléctrica y su robustecimiento, debe contemplar y priorizar la introducción de energías renovables.

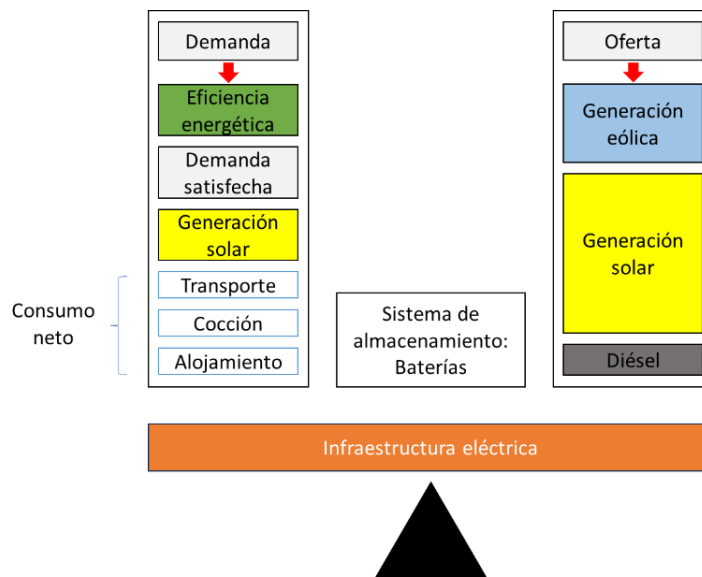


Figura 43. Demanda y oferta de la red eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

2. Medición sistemática e inteligente:

Los medidores inteligentes son dispositivos capaces de medir, recopilar y transmitir datos en forma automatizada y en tiempo real. Constituyen un pilar fundamental para modernizar las redes de servicios públicos, incrementando su eficiencia, precisión e interacción proveedor – usuario.

Bajo esta línea, cabe necesario resaltar el apoyo a la integración de energías renovables brindado por estos dispositivos, puesto que, gestionan eficientemente los índices de energía suministrados. Su implementación y sustitución en la región insular de Galápagos es de mediano plazo: 2025 – 2035; y, requiere una inversión que asciende a 2.000.000 USD.

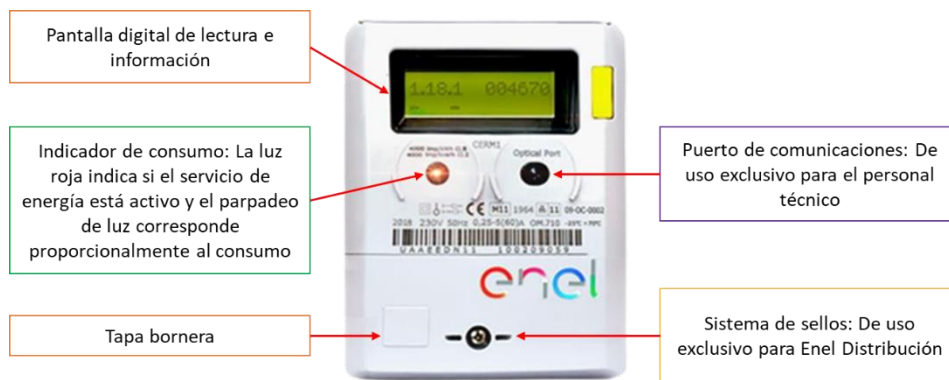


Figura 44. Medidores inteligentes.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de este apartado, resulta necesario también mencionar y priorizar el empleo de artefactos de alta eficiencia energética. Esto significaría reducir el consumo de energía eléctrica hasta un 55%. Para diferenciar los dispositivos de alta eficiencia, destaca el uso de etiquetados.

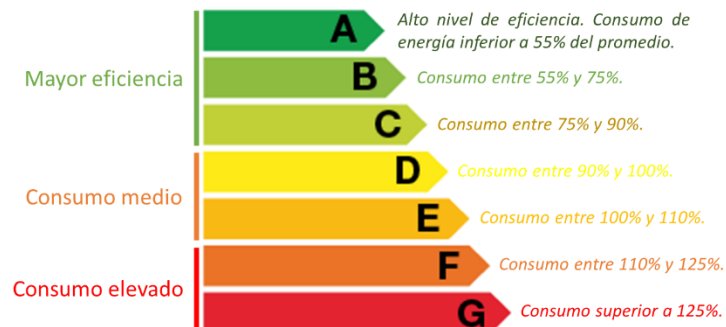


Figura 45. Etiquetado de eficiencia energética.

Fuente: Elaboración propia.

3. Sistemas de comunicaciones para procesos de operación: Comunicaciones operativas y ciudades inteligentes – Plataforma computacional cloud (datos en nube):

Plataforma computacional en nube (Cloud):

La plataforma computacional en nube debe soportar los sistemas informáticos en su totalidad. Adicionalmente, sus funciones abarcan la atención de usuarios con medidores inteligentes, operación y mantenimientos de bienes activos, recopilación y almacenamiento de datos (big data), aplicaciones de ingeniería y afines; y, análisis de datos en tiempo real.

Comunicaciones operativas: Comunicaciones entre ciudades inteligentes:

La implementación de sistemas de comunicaciones entre ciudades inteligentes constituye una solución transversal para atender los usos derivados de la implementación de infraestructura eléctrica: Medición inteligente, iluminación inteligente, semaforización, control y sistematización de estaciones de carga de movilidad eléctrica, etc. La figura expuesta a continuación, ilustra la interconexión entre islas proyectada.

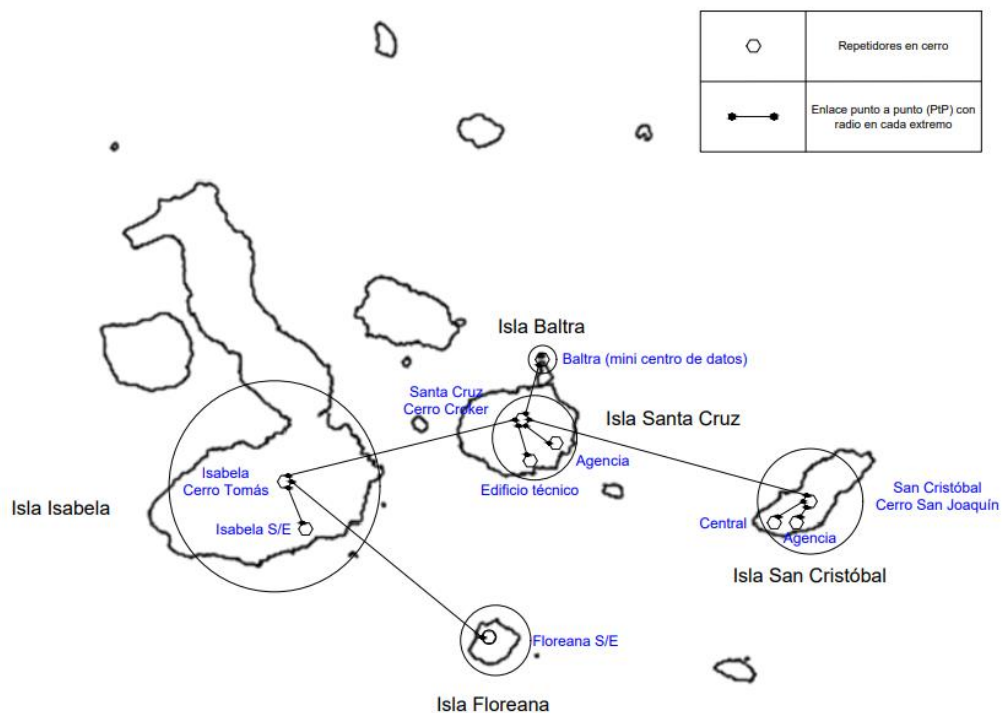


Figura 46. Comunicaciones operativas entre islas.

Fuente: Elaboración propia.

4. Automatización de los procesos operativos:

La automatización y sistematización de las operaciones constituye una estrategia esencial para incrementar índices de eficiencia energética y productividad inherentes a generación y consumo de energía, reduciendo errores técnicos y/o humanos; y, costos. Esta automatización no requiere intervención humana, o, en casos aislados y puntuales, demanda una mínima intervención.

Con el fin de disminuir el índice de carbonización en el archipiélago de Colón, resulta necesario implementar softwares adecuados (GIS, SCADA, ADMS), sistemas de gestión de recursos y procesos; y, herramientas de automatización (controladores de microrredes, unidades y subestaciones). La figura adjunta ilustra los sistemas operativos automatizados en el sistema eléctrico existente en la región estudiada.

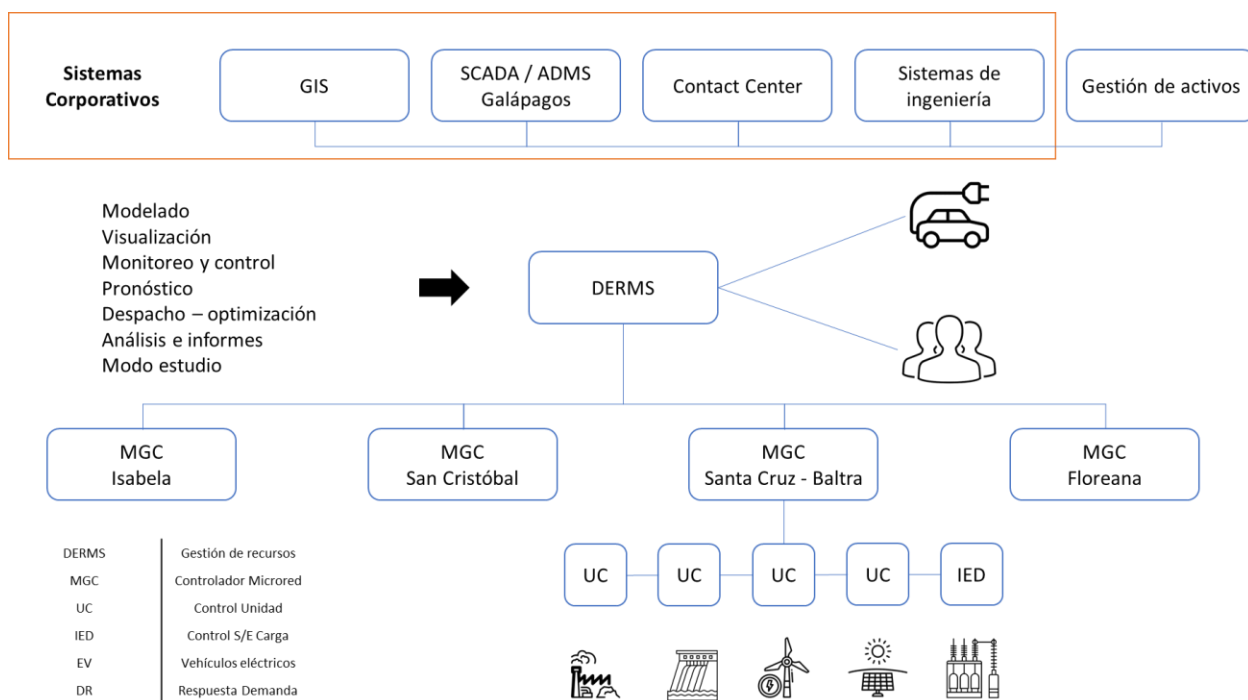


Figura 47. Automatización de la operación en las Islas Galápagos.

Fuente: Elaboración propia.

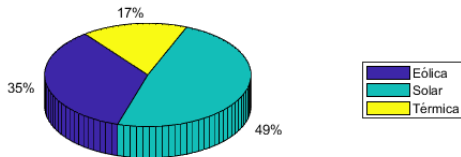
Tras automatizar los procesos operativos, los resultados permitirían: Reducir la reserva rodante (MW), controlar el nivel de frecuencia, incrementar la eficiencia del empleo de diésel, reducir la carga máxima diaria a través de la gestión de demanda, minimizar la incidencia de fallas eléctricas, y recopilar datos para gestionar activos de generación.

4.4.1.2. Generación distribuida y almacenamiento de la energía:

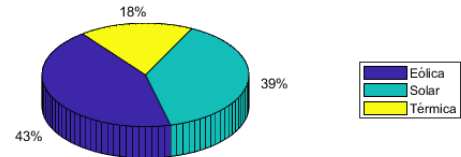
La generación eléctrica distribuida (producción de energía eléctrica a partir de una variedad de fuentes) y el almacenamiento de la energía implican un vital peldaño hacia un modelo energético sostenible y resiliente. Permiten integrar fuentes de energía intermitentes en forma efectiva y otorgan flexibilidad para satisfacer los niveles de demanda en momentos críticos.

Bajo el caso de estudio que nos atañe, para descarbonizar esta zona es necesario proyectar la introducción de fuentes de energía renovables en Santa Cruz, Baltra, San Cristóbal, Isabela y Floreana hacia 2040, obteniendo matrices de producción de energía renovable en mayor escala.

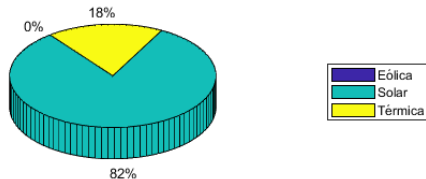
Matriz de producción de energía de Santa Cruz - Baltra: 2040



Matriz de producción de energía de San Cristóbal: 2040



Matriz de producción de energía de Isabela: 2040



Matriz de producción de energía de Floreana: 2040

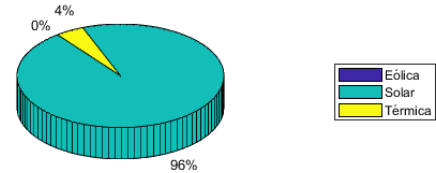


Figura 48. Generación distribuida: Matriz energética de producción de energía.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, para complementar los modelos de transición energética, resulta vital evaluar los niveles de capacidad instalada en cada región. La figura adjunta, proyecta la capacidad de los sistemas de generación eléctrica en Santa Cruz, Baltra y San Cristóbal hacia 2035. En este punto, es necesario mencionar la importancia que adquieren los dispositivos de almacenamiento. Inmersos en este sensible ecosistema, es esencial introducir baterías en proyectos a gran escala.

El empleo de combustibles fósiles decae notablemente, en tanto que, la generación eólica y solar ascienden a valores capaces de satisfacer demandas constantes. En Santa Cruz – Baltra y San Cristóbal es evidente que almacenar energía eléctrica en BESS (Battery Energy Storage System) crece exponencialmente.

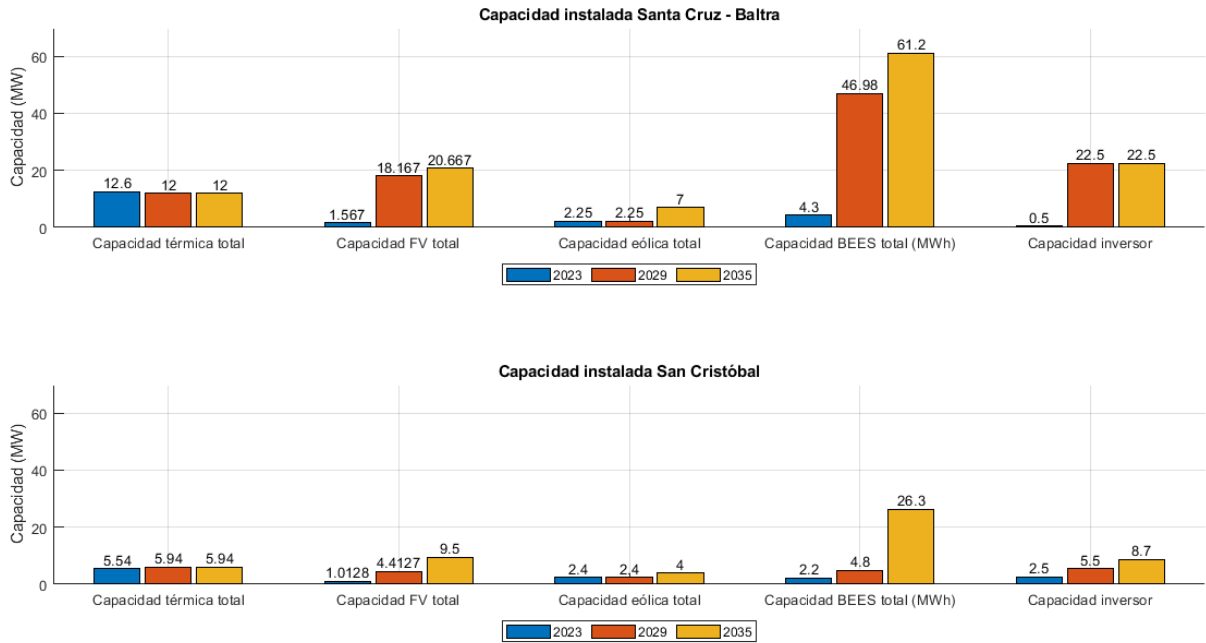


Figura 49: Generación distribuida: Capacidad instalada.

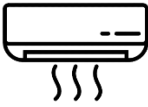
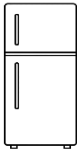
Fuente: Elaboración propia.


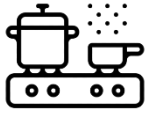
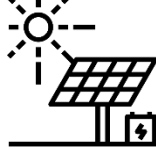
4.4.1.3. Optimización de la demanda:

Sustitución e incorporación de equipos:

Bajo esta línea, es necesario emplear artefactos y electrodomésticos con calificaciones de eficiencia energética. Esto, reduciría el consumo de energía eléctrica, y consecuentemente, el impacto ambiental y los costos asociados. Para descarbonizar las Islas Galápagos, planteamos los aspectos a continuación:

Tabla 12. Optimización de la demanda.

	Sustitución de sistemas de aire acondicionado
	Sustitución de electrodomésticos: Refrigeradores

	Reemplazo de luminarias en alumbrado público
	Clean Cooking: Implementación de cocinas eficientes de cocción eléctrica
	Implementación de colectores solares

Fuente: Elaboración propia.

La implementación de artefactos eficientes disminuirá drásticamente los niveles de carbono en esta área. Evidencia de ello, son sus resultados promedios anuales:

Tabla 13. Resultados promedio anuales esperados.

Ahorro de energía eléctrica anual	9454637.40 $kWh/Año$
Emisiones de gases de efecto invernadero evitadas	7.280 $Ton CO_2/Año$
Emisiones de gases de efecto invernadero evitadas (Gas Licuado de Petróleo)	4.670 $Ton CO_2/Año$

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

Medidas pasivas en las edificaciones:

Las medidas pasivas en edificaciones son traducidas en estrategias y técnicas de diseño arquitectónico destinadas a incrementar los índices de eficiencia energética y confort estructural. En términos sencillos, emplean elementos constructivos para reducir la demanda energética necesaria para procesos de calefacción y refrigeración. Estas medidas, previa implementación, define tres factores a analizar:

1. Consumo de recursos y minimización del índice de carbonización existente.
2. Conservación ambiental; y, protección de su correspondiente biodiversidad.

3. Diseños, materiales constructivos y medidas de eficiencia adaptadas a las condiciones existentes en esta área.

Las medidas expuestas a continuación promocionan una guía adaptada de construcciones sostenibles para las necesidades y características ambientales existentes en la región insular de Galápagos:

1. Orientación y diseño bioclimático: Dirección estratégica orientada a aprovechar la luz solar y la ventilación natural.
2. Aislamiento térmico: Materiales aislantes capaces de evitar pérdidas de calor en invierno; y, mantener una temperatura interior constante en verano.
3. Ventilación natural: Flujo de aire fresco sin requerir sistemas de aire acondicionado.
4. Masa térmica: Materiales caracterizados por su elevada capacidad de almacenamiento térmico. Absorben calor durante el periodo diurno y lo liberan gradualmente en la etapa nocturna.
5. Protección solar: Aleros, persiana o vegetación destinada a proporcionar sombra.
6. Diseño de aberturas: Espacios diseñados para maximizar el ingreso de iluminación natural.
7. Uso de materiales sostenibles: Materiales de bajo impacto ambiental.
8. Recuperación de agua de lluvias: Agua recuperada para riego y demás fines.
9. Diseño pasivo solar: Energía solar empleada para calentamiento de agua y / o generar energía eléctrica.

Estas medidas proyectan una implementación en un plazo temporal mediano: 2023 – 2035. Tras su implementación, los resultados anhelados radican en:

Tabla 14. Resultados proyectados tras implementar edificaciones sostenibles.

Ahorro anual de electricidad	20.1 MWh
Reducción de emisiones de carbono	18.1 $Ton CO_2/año$

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

La estructura residencial correspondiente a la región insular de Galápagos está compuesta por viviendas urbanas y rurales, cuya estructura predominante es hormigón sin aislamiento. La implementación de edificaciones y/o viviendas sostenibles reduciría notablemente el consumo mensual residencial. Las estimaciones expuestas a continuación consideran aspectos climatológicos existentes en verano e invierno, empleo de sistemas de refrigeración y temperaturas medias mensuales.

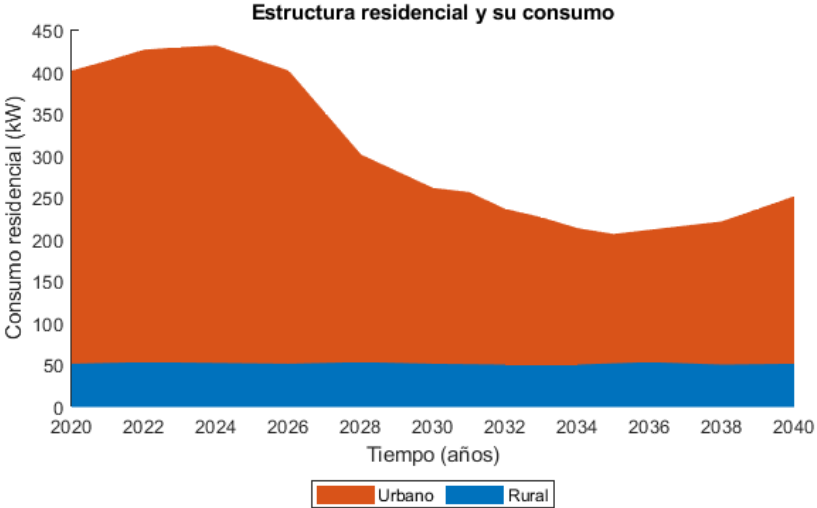


Figura 50. Consumo residencial: Urbano y rural.

Fuente: Elaboración propia

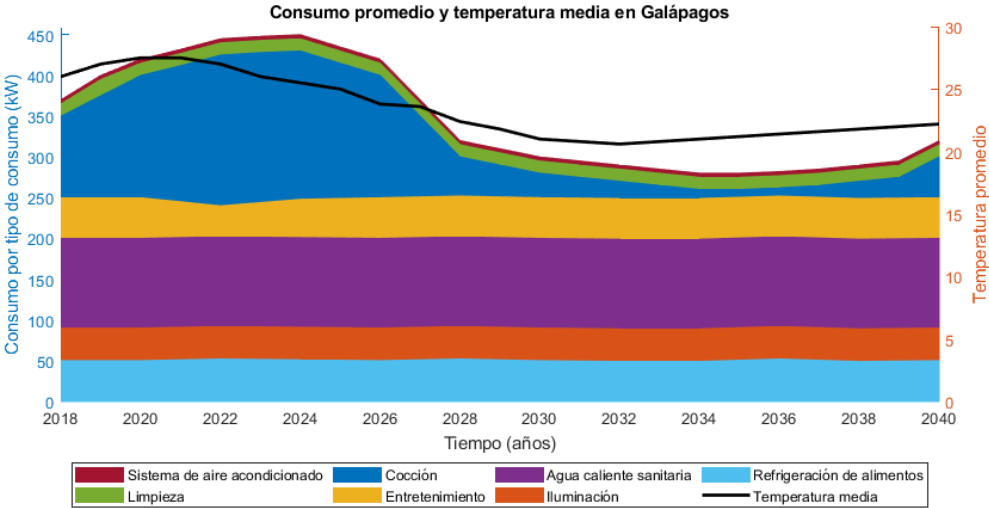


Figura 51. Consumo residencial por tipo de consumo y temperatura media.

Fuente: Elaboración propia.

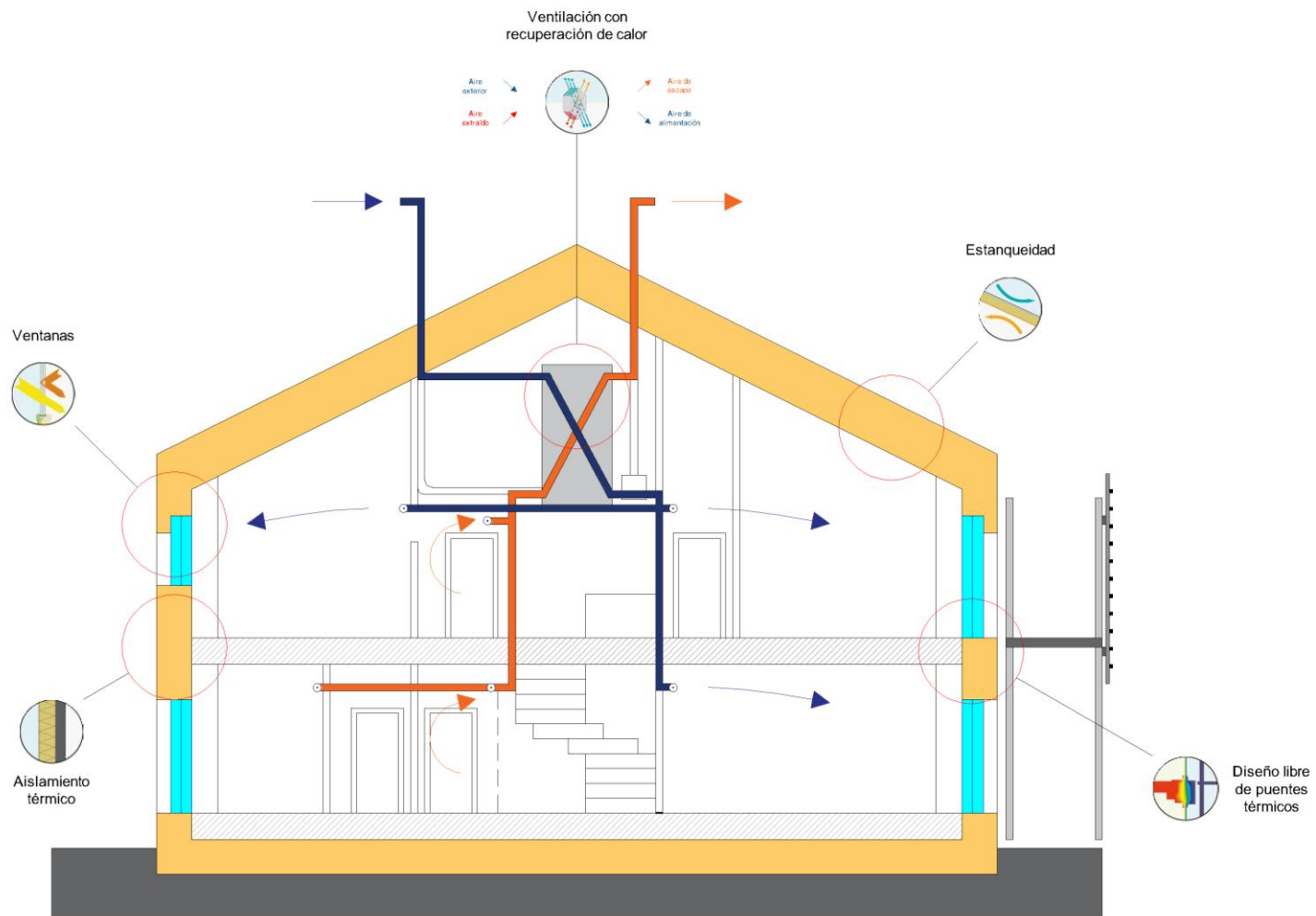


Figura 52. Diseño de edificación sostenible para implementar en las Islas Galápagos.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.4. Medidas en el sector transporte:

4.4.1.4.1. Transporte terrestre:

El parque automotor existente en la región insular de Galápagos demanda un análisis particular, puesto que, incrementa en gran escala el índice de carbonización. En este apartado, es necesario considerar la introducción de movilidad eléctrica en esta área.

Tabla 15. Efectos de descomposición del consumo de transporte terrestre.

Efectos de descomposición del consumo del transporte terrestre					
Actividad (Macro)	Actividad (Micro)	Estructura	Intensidad	Mix combustibles	Emisiones
Crecimiento poblacional y económico derivados del turismo en tierra	Desarrollo y promoción de la tecnología vehicular, combustibles y sistemas de transporte masivos: Tasa de motorización y factor de ocupación	Participación de cada modo de transporte y movilidad: Embarcaciones, aviones, autos livianos, autobuses	Consumo específico energético por servicio de transporte: Depende de la eficiencia del vehículo	Participación de energéticos en la matriz: Sustitución de combustibles	Cada fuente de energía posee su factor de emisión
	Presencia de conductores en todos los escenarios	Tasa de motorización	Participación de transporte no motorizado y micro movilidad	Mejorar eficiencia en los vehículos. Asegurar renovación	
	Factor de ocupación	Uso de transporte público masivo			

Fuente: Fundación Bariloche.

El crecimiento poblacional deriva directamente en el incremento masivo de vehículos automotores terrestres por isla. En la región insular de Galápagos, existe una marcada tendencia de crecimiento de sistemas de movilidad a base de diésel y gasolina para pasajeros por isla (automóvil, camioneta, buses y furgonetas, motocicletas):

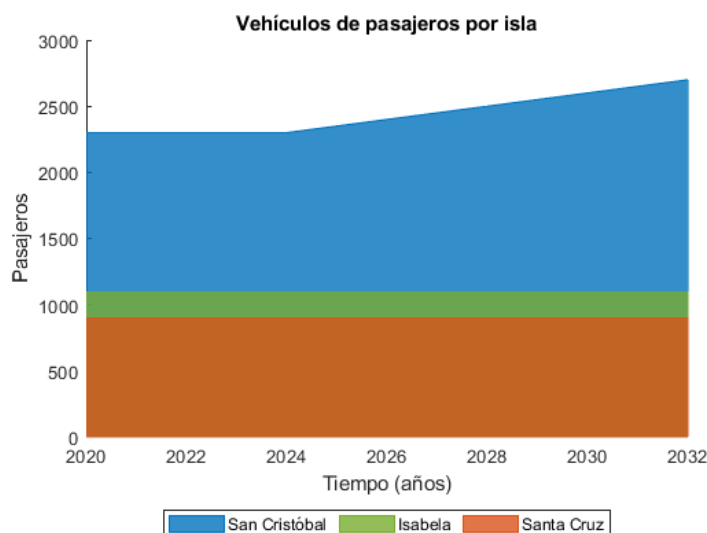


Figura 53. Vehículos de pasajeros por isla.

Fuente: Fundación Bariloche.

Bajo esta misma línea, los vehículos de carga por isla marcan un crecimiento significativo a través de los años. Los sistemas de transporte de carga, a base de diésel, a considerar son: camiones pequeños y transporte pesado (tanqueros, volquetas, etc.). Para los vehículos de pasajeros y sistemas de transporte de carga por isla resulta necesario considerar su respectivo consumo medio y distancias de recorrido promedio.

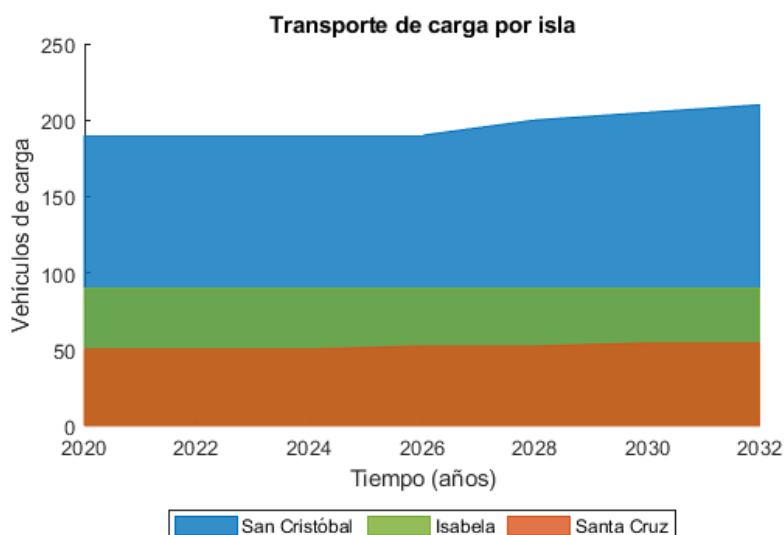


Figura 54. Vehículos de carga por isla.

Fuente: Fundación Bariloche.

4.4.1.4.2. Transporte marítimo:

El transporte marino constituye aquellos sistemas de movilidad a través de cuerpos de agua (ríos, lagos, mares y océanos). Cumple un rol vital en el desarrollo de la economía local y nacional; y, comercio exterior.

Su contribución a incrementar el índice de carbonización en la Islas Galápagos reside en sus caracterizaciones técnicas: tonelaje, motorización y capacidad de transporte de pasajeros. Adicionalmente, resulta necesario otorgarles una clasificación adecuada: turismo con y sin pernocte, extranjeros, interislas, otros pasajeros, carga, otras embarcaciones y pesqueros.

Este sistema de transporte implica un significativo consumo de combustible y emisiones de carbono en esta área de estudio. Lo anterior mencionado es ilustrado en la siguiente figura:

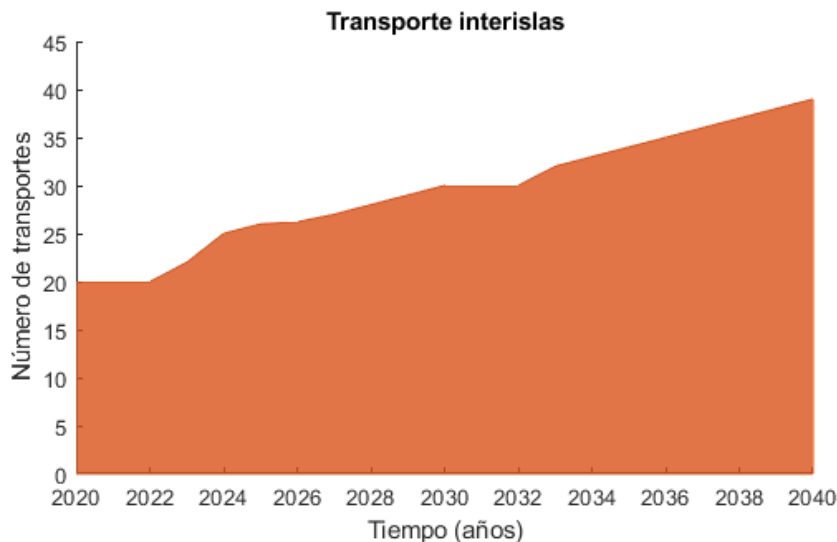


Figura 55. Transporte interislas.

Fuente: Fundación Bariloche.

4.4.1.4.3. Emisiones:

a) Emisiones internas de carbono.

Las emisiones internas de carbono sucedidas en las Islas Galápagos constituyen aquellas emisiones de contaminantes o gases de efecto invernadero originadas en esta área geográfica. Es decir, son resultado de actividades internas desarrolladas en este archipiélago: operación de vehículos terrestres, sistemas de calefacción y refrigeración, gestión de residuos, etc.

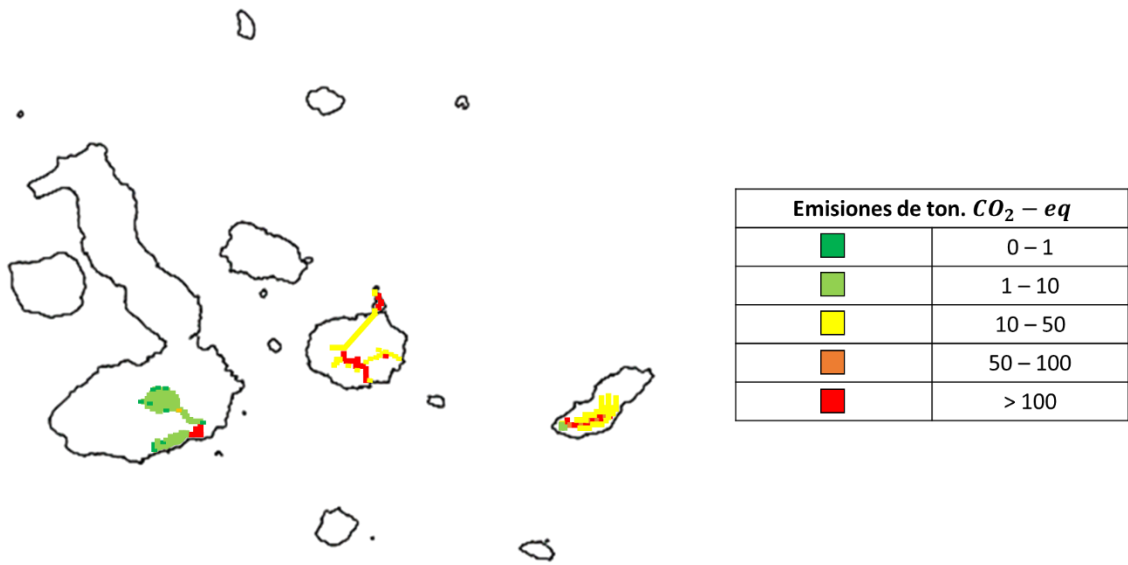


Figura 56. Emisiones internas de carbono.

Fuente: Elaboración propia.

b) Emisiones del transporte aéreo.

Estas emisiones de contaminantes (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas finas, compuestos orgánicos volátiles) son liberadas por las aeronaves que operan en la región insular de Galápagos.

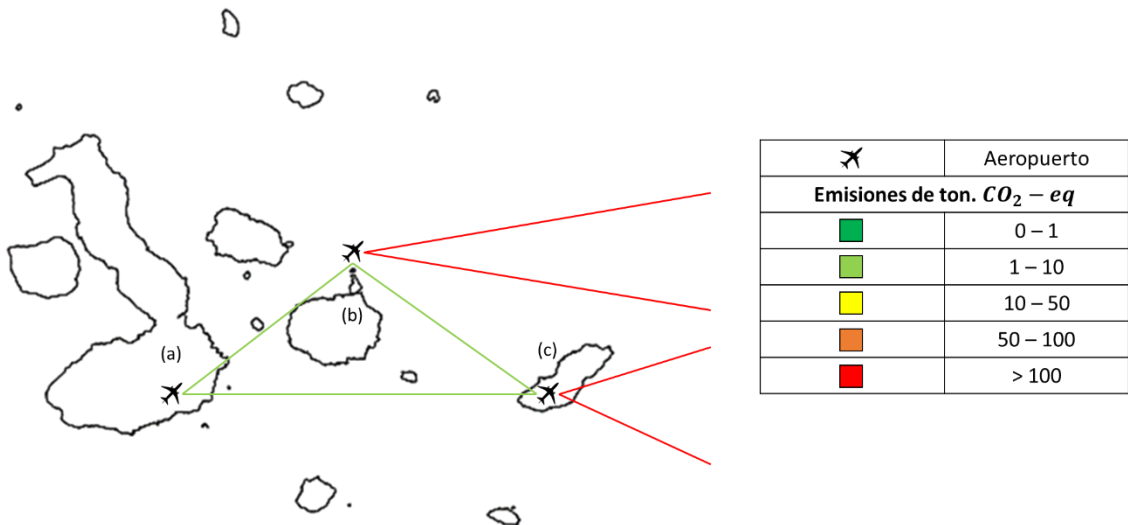


Figura 57. Emisiones del transporte aéreo.

Fuente: Elaboración propia.

c) Emisiones del transporte marítimo.

Las emisiones del transporte marítimo derivan de las embarcaciones que navegan en las aguas circundantes de las Islas Galápagos (Océano Pacífico). Estos contaminantes impactan en el ambiente marino y en sus sensibles ecosistemas.

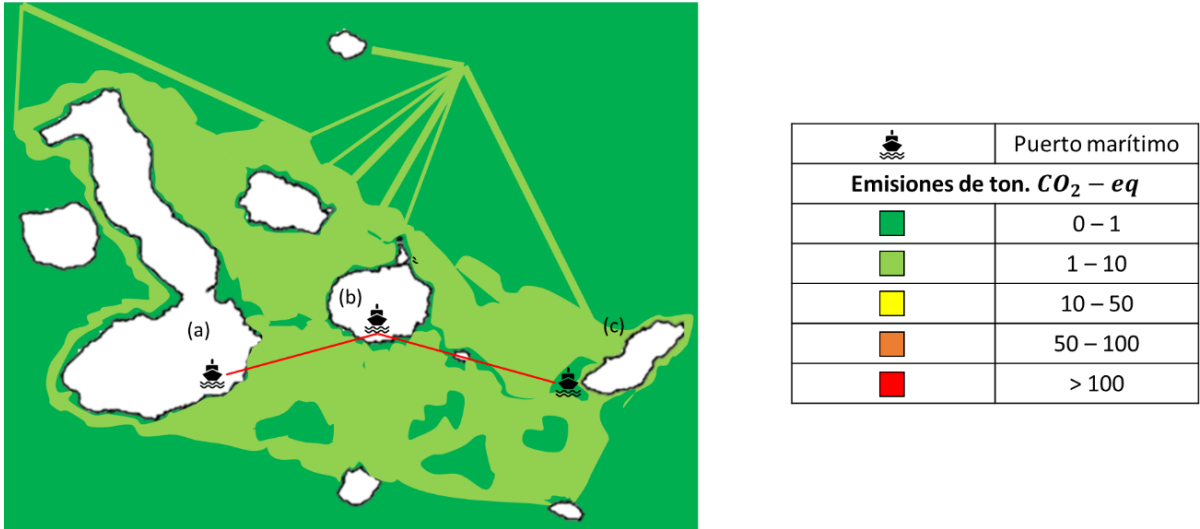


Figura 58. Emisiones del transporte marítimo.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.5. Movilidad eléctrica:

Para reducir las emisiones de carbono en el archipiélago de Colón resulta imperante la introducción de sistemas de transporte eléctrico. Los vehículos eléctricos son caracterizados por su sostenibilidad ambiental. Esto es traducido en: cero emisiones de escape, eficiencia energética, menores costos de mantenimiento, reducción de contaminación auditiva, independencia energética, reducción de la huella de carbono.

Tabla 16. Resultados anuales promedio proyectados.

Reducción en el consumo	3285 galones de gasolina anuales
Reducción de emisiones	32.9 Ton CO ₂

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

En adición, la implementación de transporte no motorizado (bicicletas) resultaría un complemento ideal para minimizar el índice de carbonización en las Islas Galápagos.

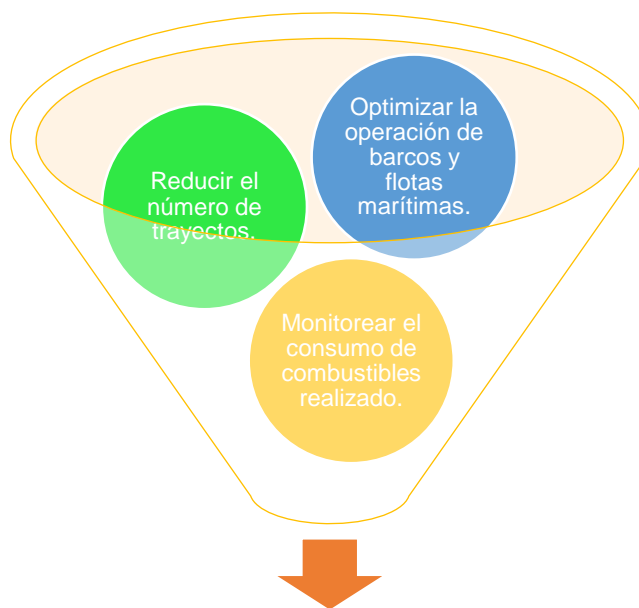
Tabla 17. Implementación de bicicletas en San Cristóbal y Santa Cruz.

Sistema	Número de estaciones	Número de bicicletas
San Cristóbal	4	100
Santa Cruz	5	200

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

4.4.1.6. Medidas en el transporte marítimo:

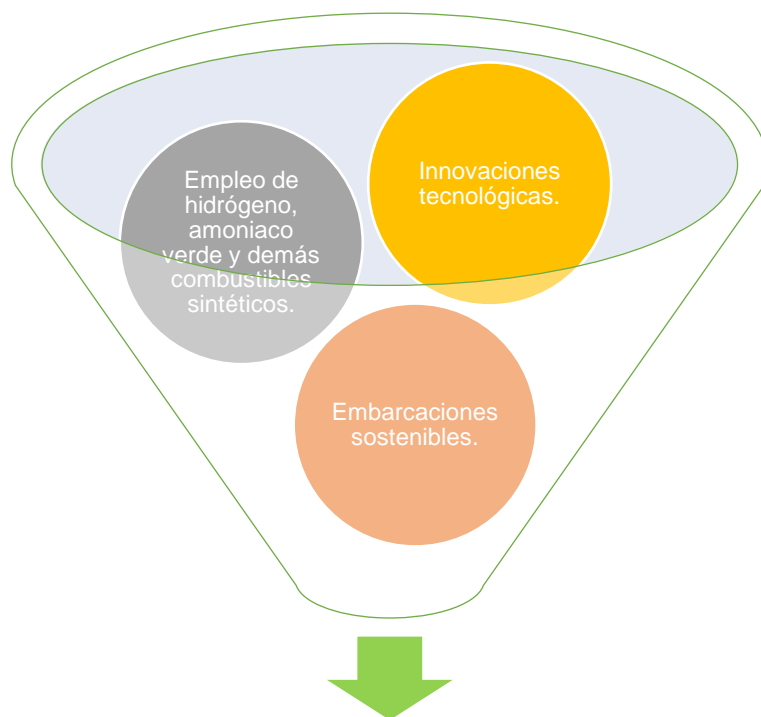
Inmersos en este frágil ecosistema, el transporte marítimo constituye a ciencia cierta el sistema de movilidad de mayor empleo. Por ello, resulta imprescindible desarrollar e implementar medidas de efecto inmediato y a largo plazo.



Medidas a corto plazo: 2025 - 2032

Figura 59. Medidas a implementar en el transporte marítimo a corto plazo.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.



Medidas a largo plazo: Posterior a 2032

Figura 60. Medidas a implementar en el transporte marítimo a largo plazo.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

4.4.1.7. EnergyPLAN

EnergyPLAN otorga ayuda para diseñar sistemas de energía 100% renovables. Un sistema inteligente de energía es definido por estos principios claves:

- Sistema 100% renovable.
- Consume un índice sostenible correspondiente a bioenergía.
- Maximiza la eficiencia energética y reduce costos económicos.
- No incrementa exponencialmente el coste inherente a energía eléctrica. En términos cortos, es asequible.

Bajo estos conceptos, las simulaciones expuestas a continuación complementan el plan previamente descrito destinado a descarbonizar las Islas Galápagos. Para ello, en primera instancia, es necesario definir una demanda eléctrica respecto a este archipiélago (0.0526 TWh / año).

Electricity demand:	0.0526	TWh/year	Change distribution	DK 2013 Electricity demand.txt
Additional electricity demand	0	TWh/year	Change distribution	const.txt
Electric heating (IF included)	- 0	TWh/year	Subtract electric heating using distribution from 'individual' window	
Electric cooling (IF included)	- 0	TWh/year	Subtract electric cooling using distribution from 'cooling' window	
Elec. for Biomass Conversion	0.00	TWh/year	(Transferred from Biomass Conversion TabSheet)	
Elec. for Transportation	0.00	TWh/year	(Transferred from Transport TabSheet)	
Sum (excluding electric heating and cooling)	0.05	TWh/year		
Electric heating (individual)	0.00	TWh/year		
Electricity for heat pumps (individual)	0.00	TWh/year		
Electric cooling	0.00	TWh/year		
Flexible demand (1 day)	0	TWh/year	Max-effect	1000 MW
Flexible demand (1 week)	0	TWh/year	Max-effect	1000 MW
Flexible demand (4 weeks)	0	TWh/year	Max-effect	1000 MW
Fixed Import/Export	0	TWh/year	Change distribution	Hour_Tysklandsexport.txt
Total electricity demand*	0.05	TWh/year		

Figura 61. Definición de demanda de electricidad.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Tras definir la demanda de electricidad en la región insular de Galápagos, obtenemos el consumo promedio mensual:

TOTAL ANNUAL COSTS																			
12																			
		Conventional Cars	0	0	0														
		DME Buses	0	0	0														
		Diesel Buses	0	0	0														
		DME Trucks	0	0	0														
		Diesel Trucks	0	0	0														
		Charge el2 storage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Discharge el2 storage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		El2 storage cap	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Electr. Demand	Elec.dem Cooling	Fixed Exp/Imp	DH Demand	Wind Electr.	PV Electr.	Wave Electr.	River Electr.	Tidal Electr.	Wave Electr.	CSP Electr.	CSP2 Electr.	CSP2 Storage loss	CSP2 Electr.	Hydro Electr.	Hydro pump	Hydro storage	
TOTAL FOR ONE YEAR (TWh/year):		0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
MONTHLY AVERAGE VALUES (MW):																			
January	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
February	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
March	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
April	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
May	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
June	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
July	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
August	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
September	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
October	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
November	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
December	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Annual Average	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Annual Maximum	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Annual Minimum	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 62. Valores promedio mensuales.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

El valor anual máximo es de 10 MW durante esta simulación. En tanto que, el valor mínimo a considerar es 4 MW. Estos valores son visualizados en la siguiente planilla:

	District Heating										Electricity										Exchange									
	Demand					Production					Consumption					Production					Balance		Payment Imp Exp Million DKK							
	Distr. heating MW	Solar MW	Waste CSHP MW	DHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Ba- lance MW	Elec. demand MW	Flex.& Transp MW	HP MW	Elec- trolyser MW	EH MW	Hydro Pump MW	Tur- bine MW	RES MW	Hy- dro MW	Geo- thermal MW	Waste CSHP MW	CHP MW		PP MW	Stab- Load %	Imp MW	Exp MW	CEEP MW	EEP MW	
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	7	0	0	0	1	0
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	7	0	0	0	1	0
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	7	0	0	0	1	0
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0	1	0
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	5	0	0	0	1	0
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	5	0	0	0	1	0
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	5	0	0	0	1	0
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	5	0	0	0	1	0
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0	1	0
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0	1	0
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0	1	0
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0	1	0
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6	0	0	0	Average price (DKK/MWh)	234
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	10	0	0	0		
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4	0	0	0		
TWh/year	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	12	0	
FUEL BALANCE (TWh/year):										Waste/ CAES BioCon-Electro-										PV and Wind off		Industry		Imp/Exp Corrected		CO2 emission (Mt)				
DHP CHP2 CHP3 Boiler2 Boiler3 PP Geo/NuHydro HTL Elic.y. version Fuel Wind CSP Wave Hydro Solar.Ti Transp.househ.Various Total										HTL Elic.y. version Fuel Wind CSP Wave Hydro Solar.Ti Transp.househ.Various Total										CSP Wave Hydro		Total		Imp/Exp Net		Total Net				
Coal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
N.Gas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Renewable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
H2 etc.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Biofuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.12	0.12	0.00	0.00		

Figura 63. Planilla considerada para las Islas Galápagos.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Ahora, definiremos una central de producción eólica (2000 MW), una planta de energía convencional (9000 MW); y, su respectiva distribución de combustible para el caso de estudio que nos atañe.

Variable Renewable Electricity

Renewable Energy Source	Capacity: MW	Stabilisation share	Distribution profile*	Estimated Production TWh/year	Correction factor	Estimated Post Correction production	Estimated capacity factor
Wind	2000	0	Change DK 2013 Wind or	4.36	0	4.36	0.25
Photo Voltaic	0	0	Change Hour_wind_1.txt	0.00	0	0.00	0.00
Wave Power	0	0	Change Hour_solar_prod1	0.00	0	0.00	0.00
River Hydro	0	0	Change Hour_solar_prod1	0.00	0	0.00	0.00
Tidal	0	0	Change hour_tidal_power	0.00	0	0.00	0.00
Wave Power	0	0	Change Hour_wave_200'	0.00	0	0.00	0.00
CSP Solar Power	0	0	Change Hour_solar_prod1	0.00	0	0.00	0.00

Concentrated Solar Power

Annual solar thermal input	0	TWh/year	Change	hour_solar_prod1.txt
Storage capacity	0	GWh		
Storage efficiency (losses)	0.5	Percent pr. hour		
Power capacity	0	MW-e	Estimated Production TWh/year	0.00
Power efficiency	0.3		Estimated Storage loss TWh/year	0.00
Stabilisation Share	0			

(a)

Boilers			
Thermal Capacity	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	MJ/s
Boiler Efficiency	<input type="text" value="0.9"/>	<input type="text" value="0.9"/>	Percent
Fixed Boiler share	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	Percent

Combined Heat and Power (CHP)			
CHP Condensing Mode Operation*			
Electric Capacity (PP1)	<input type="text" value="9000"/>		MW-e
Electric Efficiency (PP1)	<input type="text" value="0.45"/>		
CHP Back Pressure Mode Operation*			
Electric Capacity	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	MW-e
Thermal Capacity	<input type="text" value="Auto"/>	<input type="text" value="0"/>	MJ/s
Electric Efficiency	<input type="text" value="0.4"/>	<input type="text" value="0.4"/>	
Thermal Efficiency	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	

Industrial CHP					
CHP Electricity	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0.00	TWh/year
CHP Heat Produced	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0.00	TWh/year

CHP plants are modelled as a combination of CHP back pressure and condensing plants so the Max CHP3 is the PP1 Capacity, which is:

(b)

Distribution of fuel	Coal	Oil	Ngas	Biomass	Electrofuels(Dil) *)	Hydrogen ***)	
(TWh/year)	Variable	Variable	Variable	Variable	Fixed **)	Fixed **)	
DHP	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	DHP: Boilers in district heating group 1.
CHP2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	CHP2: Combined heat and power in district heating group 2.
CHP3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	CHP3: Combined heat and power in district heating group 3.
Boiler2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	Boiler2: Boilers in district heating group 2.
Boiler3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	Boiler3: Boilers in district heating group 3.
PP1	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	PP1: Condensing mode operation of combined heat and power in district heating group 3.
PP2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	PP2: Condensing power plant in 'Electricity only'.

*) Replace only Oil - will be adjusted if the Oil demand is not big enough
 **) Specify a demand for the production of electrofuels and hydrogen which must be met in the "Liquid and Gas Fuels" Tab sheet
 ***) Replace all fuels - will be adjusted if the total fuel demand is not big enough

(c)

Figura 64. Implementación de sistemas energéticos: (a) Planta eólica; (b) Central convencional; (c) Distribución de combustibles fósiles.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Los parámetros definidos previamente, ilustran los resultados expuestos a continuación:

Tabla 18. Resultados obtenidos.

Producción de energía eólica	4.36 TWh / año
Producción de energía convencional	0
Consumo de carbón	0
Emisiones de CO ₂	0

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

	District Heating										Electricity														Exchange						
	Demand	Production									Ba- lance	Consumption							Production							Balance				Payment Imp Exp	Imp Exp
		Distr. heating MW	Solar MW	Waste- CSHP MW	DHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW		Elec. demand MW	Flex.& Transp MW	Elec- trolyser MW	EH MW	Hydro Pump MW	Tur- bine MW	RES MW	Hy- dro MW	Geo- thermal MW	Waste- CSHP MW	CHP MW	PP MW	Stab- Load %	Imp MW	Exp MW	CEEP MW	EEP MW			
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	529	0	0	0	0	0	100	0	522	522	0	0	85		
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	342	0	0	0	0	0	100	0	335	335	0	0	48		
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	658	0	0	0	0	0	100	0	651	651	0	0	107		
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	536	0	0	0	0	0	100	0	530	530	0	0	84		
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	367	0	0	0	0	0	100	0	362	362	0	0	70		
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	452	0	0	0	0	0	100	0	446	446	0	0	71		
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	275	0	0	0	0	0	100	0	270	270	0	0	32		
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	390	0	0	0	0	0	100	0	384	384	0	0	64		
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	343	0	0	0	0	0	100	0	337	337	0	0	61		
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	595	0	0	0	0	0	100	0	589	589	0	0	104		
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	549	0	0	0	0	0	100	0	543	543	0	0	88		
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	913	0	0	0	0	0	100	0	907	907	0	0	163		
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	497	0	0	0	0	0	100	0	491	491	0	0	Average price		
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	2000	0	0	0	0	0	7	100	0	1993	1993	0	0	(DKK/MWh)	
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	-	227	
TWh/year	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.31	4.31	0.00	0	0	978		
FUEL BALANCE (TWh/year):											Waste/	CAES	BioCon-	Electro-	PV and Wind off				Industry				Imp/Exp	Corrected	CO2 emission (Mt)						
	DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu.	Hydro	HTL	Etc.	ly.	version	Fuel	Wind	CSP	Wave	Hydro	Solar.Tf	Transp	househ.	Various	Total	Imp/Exp	Net	Total	Net					
Coal	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-9.58	-9.58	0.00	-3.28					
Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
N.Gas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Renewable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.36	-	-	-	-	-	-	-	-	4.36	0.00	4.36	0.00	0.00				
H2 etc.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Biofuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Total	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	4.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.36	-9.58	-5.22	0.00	-3.28			

Figura 65. Resultados proyectados para una planta eólica, una central convencional y emisiones de gases.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Si analizamos los resultados obtenidos, podemos afirmar que, el potencial eólico existente en el archipiélago de Colón puede sustituir transitoriamente las fuentes convencionales de energía, y erradicar el empleo de carbón y combustibles fósiles.

En condiciones paralelas, definimos aspectos inherentes a calefacción urbana y calefacción doméstica individual en este caso de estudio:

Caldera de carbón (0.01);

Caldera de aceite (6.72);

Caldera de gas (9.05);

Caldera de biomasa (7.29);

Producción (39.18).

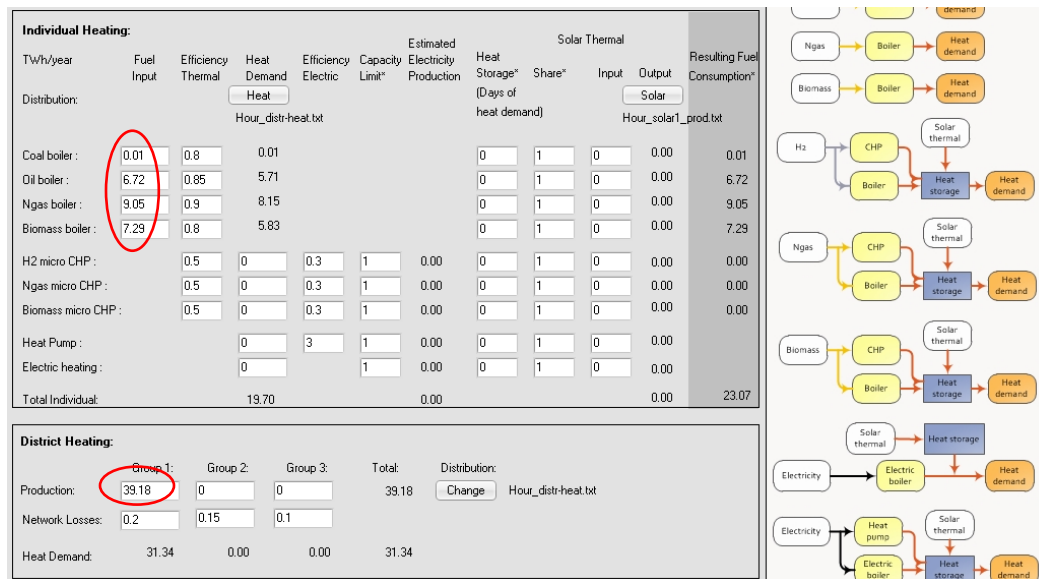


Figura 66. Parámetros para calefacción.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Adicionalmente, ajustamos en 1 el valor correspondiente a aceite para calefacción urbana:

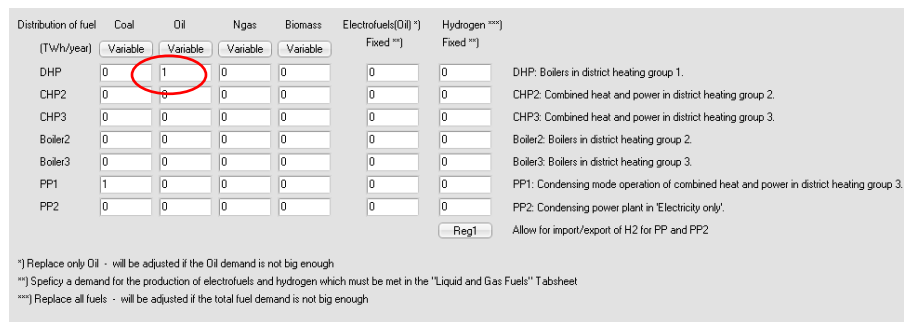


Figura 67. Parámetros para aceite destinado a calefacción.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Para los sistemas de calefacción urbana e individual, obtenemos los resultados proyectados en la tabla adjunta:

Tabla 19. Resultados obtenidos.

Suministro de energía primaria	70.97 TWh / año
Emisiones de CO ₂	15.24 Mt

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

	District Heating										Consumption										Electricity										Exchange	
	Demand	Production								Balance	Elec. demand	Flex.& Transp.	Elec. HP	Elec. MW	EH	Hydro Pump	Tur-bine	RES	Hydro	Geo-thermal	Waste- CSHP	CHP	PP	Stab-Load %	Balance				Payment Imp	Exp		
		Solar	Waste- CSHP	DHP	CHP	HP	ELT	Boiler	EH																Imp	Exp	CEEP	EEP			EE	EE
January	7553	0	0	7553	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	529	0	0	0	0	0	100	0	522	522	0	0	85		
February	7139	0	0	7139	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	342	0	0	0	0	0	100	0	335	335	0	0	48		
March	6151	0	0	6151	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	658	0	0	0	0	0	100	0	651	651	0	0	107		
April	4595	0	0	4595	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	536	0	0	0	0	0	100	0	530	530	0	0	84		
May	3012	0	0	3012	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	367	0	0	0	0	0	100	0	362	362	0	0	70		
June	2202	0	0	2202	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	452	0	0	0	0	0	100	0	446	446	0	0	71		
July	1788	0	0	1788	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	275	0	0	0	0	0	100	0	270	270	0	0	32		
August	1853	0	0	1853	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	390	0	0	0	0	0	100	0	384	384	0	0	64		
September	2611	0	0	2611	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	343	0	0	0	0	0	100	0	337	337	0	0	61		
October	4058	0	0	4058	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	595	0	0	0	0	0	100	0	589	589	0	0	104		
November	5727	0	0	5727	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	549	0	0	0	0	0	100	0	543	543	0	0	88		
December	6921	0	0	6921	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	913	0	0	0	0	0	100	0	907	907	0	0	163		
Average	4460	0	0	4460	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	497	0	0	0	0	0	100	0	491	491	0	0	Average price		
Maximum	7932	0	0	7932	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	2000	0	0	0	0	7	100	0	1993	1993	0	0	(DKK/MWh)		
Minimum	1607	0	0	1607	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	- 227		
TWh/year	39.18	0.00	0.00	39.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.31	4.31	0.00	0	978		

FUEL BALANCE (TWh/year):										Waste/ CAES BioCon-Electro-										PV and Wind off										Industry										Imp/Exp Corrected		CO2 emission (Mt)	
DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu	Hydro	HTL	HTL	HTL	CAES	Bio	Con	Electro-	Electro-	Electro-	Electro-	Electro-	Electro-	Electro-	CSP	Wave	Hydro	Solar.T	Transp.	househ.	Various	Total	Total	Net	Total	Net											
Coal	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	0.01	-9.58	-9.57	0.00	-3.27												
Oil	43.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.72	-	50.25	0.00	50.25	13.39	13.39												
N Gas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.05	-	9.05	0.00	9.05	1.85	1.85												
Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.29	-	7.29	0.00	7.29	0.00	0.00												
Renewable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.36	0.00	4.36	0.00	0.00												
H2 etc.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00												
Biofuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00												
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00												
Total	43.53	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.07	-	70.97	-9.58	61.39	15.24	11.96												

Figura 68. Valores proyectados para calefacción.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Ahora, resulta esencial analizar la demanda de combustible industrial y la generación de calor y electricidad. Definimos los valores correspondientes a industria y otros consumos de combustible: Carbón (3.37); Aceite (26.92); Gas (18.19); Biomasa (5.18); Hidrógeno (0).

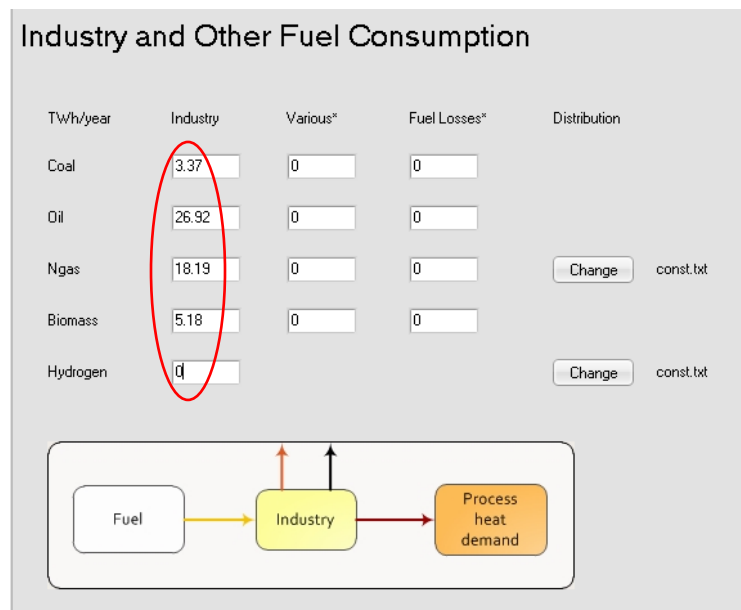


Figura 69. Valores para industria y otros consumos de combustible.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Ahora, es necesario establecer los valores correspondientes a calor y potencia combinados (CHP – Combined Heat and Power):

Industrial CHP						
CHP Electricity	1.73	0	0	1.73	TWh/year	
CHP Heat Produced	2.41	0	0	2.41	TWh/year	
CHP Heat Demand	0	0	0	0.00	TWh/year	
CHP Heat Delivered*	2.41	0.00	0.00	2.41	TWh/year	Distribution Hour_cshpel.txt

Figura 70. Calor y potencia combinados.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Obtenemos los resultados descritos por la tabla adjunta:

Tabla 20. Resultados obtenidos.

Suministro de energía primaria	121.95 TWh / año
Emisiones de CO ₂	26.56 Mt

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

	District Heating										Electricity													Exchange						
	Demand					Production					Balance	Consumption						Production						Balance				Payment Imp	Exp	
	Distr. heating MW	Solar MW	Waste- CSHP MW	DHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Ba- lance MW		Elec. demand MW	Flex.& Transp MW	HP MW	Elec- troyser MW	EH MW	Hydro Pump MW	Tur- bine MW	RES MW	Hy- dro thermal MW	Geo- thermal MW	Waste- CSHP MW	CHP MW	PP MW	Stab- Load %	Imp MW	Exp MW			CEEP MW
January	7553	0	274	7279	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	529	0	0	197	0	0	100	0	719	719	0	0	123
February	7139	0	274	6865	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	342	0	0	197	0	0	100	0	532	532	0	0	78
March	6151	0	274	5876	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	658	0	0	197	0	0	100	0	848	848	0	0	139
April	4595	0	274	4321	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	536	0	0	197	0	0	100	0	727	727	0	0	118
May	3012	0	274	2738	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	367	0	0	197	0	0	100	0	559	559	0	0	107
June	2202	0	274	1928	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	452	0	0	197	0	0	100	0	643	643	0	0	102
July	1788	0	274	1514	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	275	0	0	197	0	0	100	0	467	467	0	0	54
August	1853	0	274	1578	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	390	0	0	197	0	0	100	0	581	581	0	0	95
September	2611	0	274	2336	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	343	0	0	197	0	0	100	0	534	534	0	0	96
October	4058	0	274	3784	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	595	0	0	197	0	0	100	0	786	786	0	0	140
November	5727	0	274	5452	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	549	0	0	197	0	0	100	0	740	740	0	0	120
December	6921	0	274	6647	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	913	0	0	197	0	0	100	0	1104	1104	0	0	198
Average	4460	0	274	4186	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	497	0	0	197	0	0	100	0	688	688	0	0	Average price (DKK/MWh)
Maximum	7932	0	274	7658	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	2000	0	0	197	0	0	100	0	2190	2190	0	0	
Minimum	1607	0	274	1332	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	197	0	0	100	0	190	190	0	0	- 227
TWh/year	39.18	0.00	2.41	36.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.36	0.00	0.00	1.73	0.00	0.00	0.00	6.04	6.04	0.00	0.00	1370	
FUEL BALANCE (TWh/year):											Waste/ CAES BioCon-Electro-				PV and Wind off				Industry				Imp/Exp Corrected		CO2 emission (Mt)					
	DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu-Hydro	HTL	Etc.ly.	version	Fuel	Wind	CSP	Wave	Hydro	Solar.Ti	Transp.househ.	Various	Total											
Coal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	3.37	3.38	-13.43	-10.05								1.16	-3.44
Oil	40.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.72	26.92	74.50	0.00	74.50								19.85	19.85
N.Gas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.05	18.19	27.24	0.00	27.24								5.56	5.56
Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.29	5.18	12.47	0.00	12.47								0.00	0.00
Renewable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.36	-	-	-	-	-	-	4.36	0.00	4.36								0.00	0.00
H2 etc.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00								0.00	0.00
Biofuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00								0.00	0.00
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00								0.00	0.00
Total	40.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.36	-	-	-	-	-	-	23.07	53.66	121.95			13.43	108.52				26.56	21.97

Figura 71. Valores proyectados para combustible industrial, calor y electricidad.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Por añadidura, es esencial definir los índices de demanda de combustibles fósiles destinado a los sistemas de transporte existentes en la región insular de Galápagos. Para ello, establecemos sus valores: Combustible para aviones (13.25); Diésel (27.5); Petróleo (28.45); Gas (0); Gas licuado de petróleo – LPG (0).

TWh/year	Fossil	Biofuel	HTL, Pyrolysis and Waste*	Electrofuel	Total	Distribution
JP (Jet Fuel)	13.25	0	0.00	0	13.25	
Diesel / DME	27.5	0	0.00	0	27.50	
Petrol / Methanol	28.45	0	0.00	0	28.45	
Ngas* (Grid Gas)	0				0.00	Gas const.txt
LPG	0				0.00	
Ammonia (NH3)				0	0.00	
H2 (Produced by Electrolysers)				0		H2 Hour_transport.txt
Electricity (Dump Charge)				0		Dump Hour_transport.txt
Electricity (Smart Charge)				0		Smart Hour_transport.txt

Figura 72. Valores de combustibles fósiles para sistemas de transporte.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Tras ingresar dichos valores, este software puede diseñar y establecer valores respecto a eficiencias promedio:

TWh/year	Fossil	Biofuel	HTL, Pyrolysis and Waste*	Electrofuel	Total	Distribution	Help to design inputs
JP (Jet Fuel)	13.25	0	0.00	0	13.25		km/kWh
Diesel / DME	27.5	0	0.00	0	27.50		Billion km/year
Petrol / Methanol	28.45	0	0.00	0	28.45		1.5
Ngas* (Grid Gas)	0				0.00	Gas const.txt	1.5
LPG	0				0.00		1.5
Ammonia (NH3)				0	0.00		1.5
H2 (Produced by Electrolysers)				0		H2 Hour_transport.txt	3
Electricity (Dump Charge)				0		Dump Hour_transport.txt	5
Electricity (Smart Charge)				0		Smart Hour_transport.txt	5
							84

Figura 73. Valores de diseño obtenidos.

Fuente: EnergyPLAN v16.21.

Lo anterior efectuado, proyecta los resultados resumidos en la tabla adjunta a continuación:

Tabla 21. Resultados obtenidos.

Suministro de energía primaria	191.15 TWh / año
Emissiones de CO ₂	45.00 Mt

Fuente: EnergyPLAN v16.21

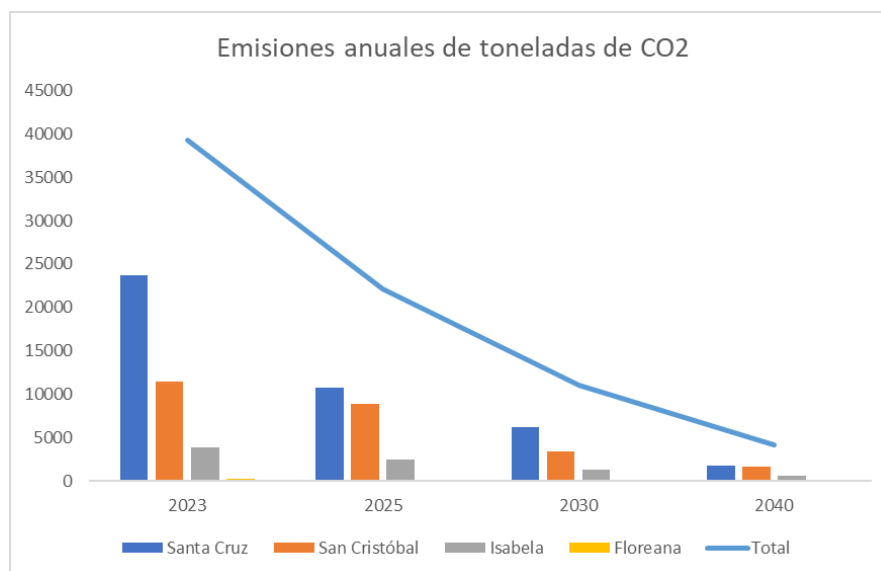


Figura 75. Emisiones anuales de carbono.

Fuente: Elaboración propia.

En condiciones similares, el empleo de combustible fósiles (diésel) en la región insular de Galápagos tiende a decrecer hacia 2040. Esto, implica erradicar una histórica dependencia de estas sustancias para la producción de energía eléctrica.

Tabla 23. Consumo de combustible diésel (galones por año).

Consumo de combustible diésel en galones - año					
Año	Santa Cruz	San Cristóbal	Isabela	Floreana	Total
2023	2322751.32	1126984.33	378306.83	23946.3	3851988.78
2025	1051587.3	873015.87	240740.74	3461.11	2168805.02
2030	611111.11	338624.14	129629.63	1646.3	1081011.18
2040	170634.92	169312.07	64814.815	823.15	405584.955

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

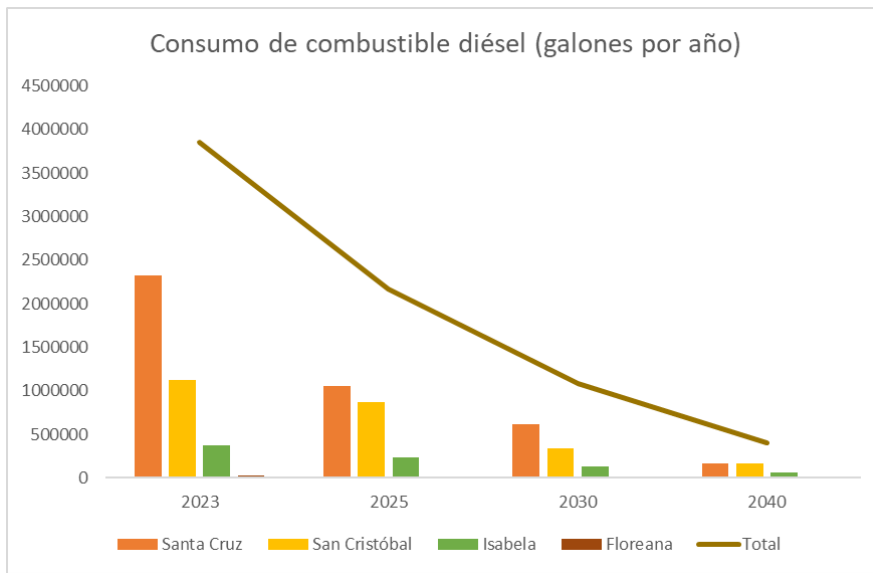


Figura 76. Consumo anual de combustible diésel.

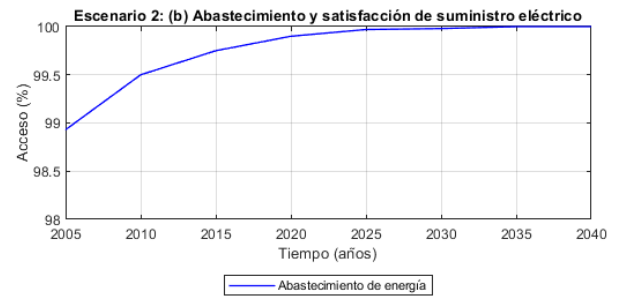
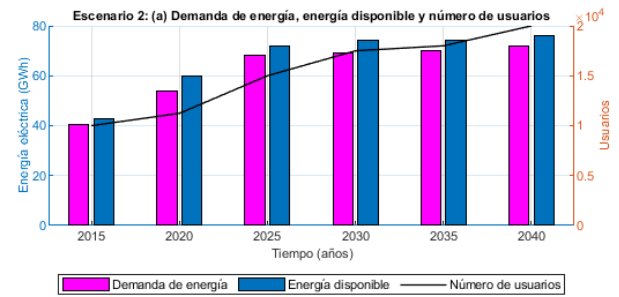
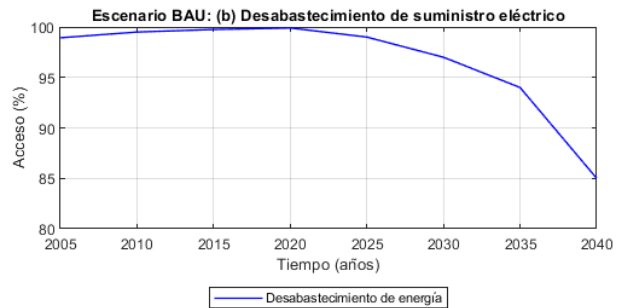
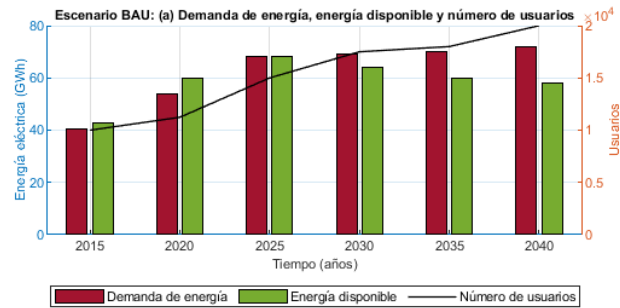
Fuente: Elaboración propia.

En resumen:

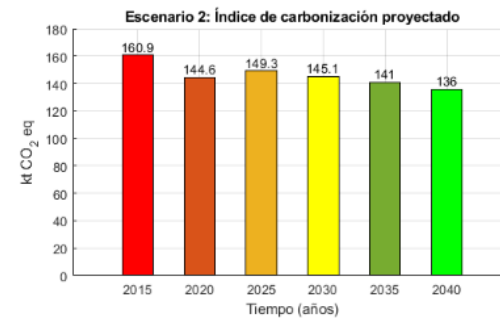
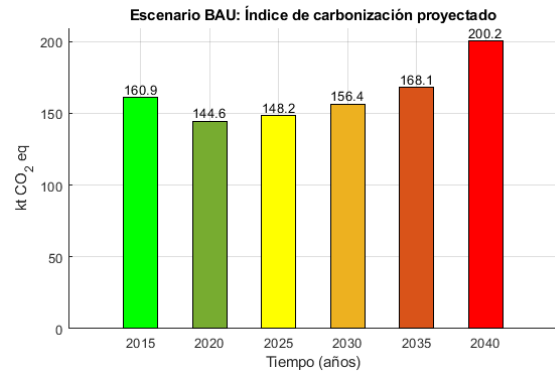
Tabla 24. Comparación entre escenarios.

Aspecto analizado	Escenario 1	Escenario 2																										
	BAU	Carbono cero																										
Matriz energética	<p>A pie chart for Scenario 1 (BAU) showing the energy matrix. The largest slice is Diésel at 91.5%, followed by Eólica at 4.9%, Solar at 3.5%, and Biocombustible at 0.1%.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Energy Source</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diésel</td> <td>91.5%</td> </tr> <tr> <td>Eólica</td> <td>4.9%</td> </tr> <tr> <td>Solar</td> <td>3.5%</td> </tr> <tr> <td>Biocombustible</td> <td>0.1%</td> </tr> </tbody> </table>	Energy Source	Percentage	Diésel	91.5%	Eólica	4.9%	Solar	3.5%	Biocombustible	0.1%	<p>A pie chart for Scenario 2 (Carbono cero) showing the energy matrix. The largest slice is Solar (MW), followed by Eólica (MW), Biocombustible (MW), Geotérmica, Mareomotriz, Hidroeléctrica, and Diésel (MW).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Energy Source</th> <th>Relative Size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Solar (MW)</td> <td>Largest</td> </tr> <tr> <td>Eólica (MW)</td> <td>Second largest</td> </tr> <tr> <td>Biocombustible (MW)</td> <td>Third largest</td> </tr> <tr> <td>Geotérmica</td> <td>Small slice</td> </tr> <tr> <td>Mareomotriz</td> <td>Small slice</td> </tr> <tr> <td>Hidroeléctrica</td> <td>Small slice</td> </tr> <tr> <td>Diésel (MW)</td> <td>Small slice</td> </tr> </tbody> </table>	Energy Source	Relative Size	Solar (MW)	Largest	Eólica (MW)	Second largest	Biocombustible (MW)	Third largest	Geotérmica	Small slice	Mareomotriz	Small slice	Hidroeléctrica	Small slice	Diésel (MW)	Small slice
Energy Source	Percentage																											
Diésel	91.5%																											
Eólica	4.9%																											
Solar	3.5%																											
Biocombustible	0.1%																											
Energy Source	Relative Size																											
Solar (MW)	Largest																											
Eólica (MW)	Second largest																											
Biocombustible (MW)	Third largest																											
Geotérmica	Small slice																											
Mareomotriz	Small slice																											
Hidroeléctrica	Small slice																											
Diésel (MW)	Small slice																											

Demanda de energía,
energía disponible y
número de usuarios



Índice de carbonización



Fuente: Elaboración propia.

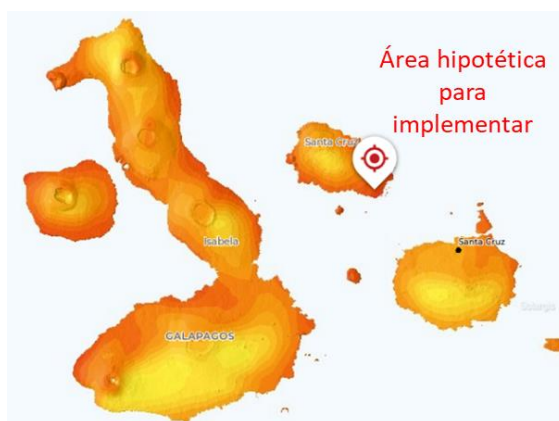
4.5. Evaluación de factibilidad y viabilidad de estrategias propuestas

La implementación de normativas energéticas en la región insular de Galápagos deben promocionar el uso eficiente de la energía eléctrica. Todos los sectores deben participar activamente en los procesos de descarbonización.

Las zonas residenciales y áreas hoteleras deben emplear artefactos y dispositivos de elevada eficiencia energética. Para ello, la inversión económica requerida será definida en ahorros de energía eléctrica. En otros términos, la implementación de puntos de iluminación LED y la adquisición de artefactos eficientes determinarán ampliamente los índices de carbonización existentes en la región.

Ahora, bajo el margen de energías renovables; su implementación aliviará las emisiones de carbono. Dentro de las Islas Galápagos, existe un elevado potencial eólico y solar; y, en menor escala, energía geotérmica. La ejecución de proyectos fotovoltaicos e introducción de generadores eólicos son viables, dado que, es posible satisfacer la demanda de energía en esta región. Esto, minimizaría la dependencia de combustibles fósiles y su importación, puesto que, el traslado de combustibles fósiles hacia el archipiélago de Colón implica riesgos ambientales altísimos.

Los parámetros fotovoltaicos existentes en esta región posibilitan la implementación de módulos solares residenciales, comerciales, a gran escala; e inclusive, sistemas flotantes a gran escala. Un breve ejemplo aplicado a nuestro caso de estudio es detallado a continuación:







Nota: Mapa generado el día 10 de agosto de 2023.

Figura 77. Área hipotética para implementación de módulos fotovoltaicos.

Fuente: Atlas Solar Global (Solargis).

Tabla 25. Factibilidad de módulos fotovoltaicos.

Tipo de sistema	Residencial	Comercial	Gran escala en tierra	Gran escala (flotantes)
				
Azimut de módulos fotovoltaicos	0°	0°	0°	0°
Inclinación de módulos fotovoltaicos	3°	3°	3°	10°
Tamaño del sistema	1 kWp	100 kWp	1000 kWp	1000 kWp
Salida de potencia fotovoltaica total	1.730 MWh	175.862 MWh	1.816 GWh	1.648 GWh
Irradiación inclinada global	2222.8 MWh	2222.8 MWh	2222.8 MWh	2202.6 MWh

Fuente: Elaboración propia.

Las características solares existentes en esta región hacen viable y factible la implementación de sistemas de producción energética solar.

Ahora, bajo los conceptos eólicos, el archipiélago de Galápagos posee un evidente potencial para explotar este recurso renovable. En términos simples, la energía eólica emplea la energía cinética derivada de las corrientes de aire y previa transformación mecánica, genera energía eléctrica. Dicho proceso descrito en líneas anteriores, es desarrollado por aerogeneradores o generadores eólicos. No obstante, inmersos en este ecosistema es necesario evaluar y analizar cada aspecto técnico. La implementación de aerogeneradores convencionales amenaza diferentes especies de aves existentes en esta región. Ante ello, nacen los aerogeneradores

carentes de aspas, dispositivos que demandan menores áreas de implementación y generan impactos reducidos para los sectores ambientales (flora y fauna). Adicionalmente, un diseño carente de aspas otorga la posibilidad de ser introducido en áreas urbanas y / o aisladas para elevar diversos índices de sustentabilidad, e inclusive, robustecer los sistemas nacionales de electrificación. Los aerogeneradores sin aspas existentes son prototipos y se hallan en etapas de prueba y diseño. Su análisis concierne un estudio apartado, no obstante, sería un atractivo sistema renovable para implementar en nuestro caso de estudio. Las figuras expuestas a continuación corresponden a diferentes prototipos eólicos sin aspas:



(a) *Vortex Bladeless*



(b) *Árbol de viento*

Figura 78. Prototipos correspondientes a aerogeneradores sin aspas.

Fuente: (a) Medioambiente y Naturaleza, (b) Contexto ganadero.

El diseño y promoción de normativas energéticas, la implementación de sistemas de energía renovables; y, la adopción de dispositivos eficientemente energéticos, resultan viables y factibles en el archipiélago de Galápagos. Las inversiones económicas requeridas para impulsar estas estrategias son recuperadas y justificadas a largo plazo.

Es evidente que, tras el análisis efectuado, las soluciones propuestas minimizan la huella de carbono y su consecuente impacto ambiental existente en la región e implementaría un ejemplo para aquellos ecosistemas que poseen características similares.

En términos generales, resulta factible garantizar que las estrategias definidas a lo largo de este análisis son técnicamente realizables y aplicables en la región insular de Galápagos, económicamente sensatas y ambientalmente beneficiosas.

4.6. Análisis de sensibilidad

Tras el análisis, estudio y plan para descarbonizar las Islas Galápagos efectuados, es notable que esta región demanda la implementación de medidas para preservar su sensible ecosistema. Si el escenario mantiene su cauce actual (empleo de combustibles fósiles y fuentes no renovables de energía), este archipiélago elevará su índice de carbonización exponencialmente. Esto, significaría un impacto sin precedentes en su fauna y flora endémica. El empleo y transporte de combustibles fósiles implican un riesgo elevado, puesto que, su derrame en medios acuáticos incrementa su nivel de acidificación. En términos similares, mes a mes, arriban cerca de 90000 toneladas de hidrocarburos procedentes de la atmósfera, a los océanos. Esta cifra, resulta cuatro veces mayor que el mayor derrame de combustibles según registros históricos (vertido de combustibles en el Golfo de México).

La implementación de fuentes energéticas renovables, el desarrollo de medidas correspondientes a eficiencia energética; y, la introducción de sistemas de transporte eléctrico son soluciones efectivas y tangibles para enfrentar las consecuencias climáticas. La matriz energética existente en la región insular de Galápagos debe establecer modelos de transición hacia generación renovable para reducir la empleabilidad de combustibles fósiles. Este archipiélago guarda un potencial energético renovable aun no explotado.

En términos similares, es necesario sustituir todos aquellos dispositivos de refrigeración, calefacción e iluminación carentes de eficiencia energética. El consumo eléctrico es menor si la eficiencia energética es alta. Dentro de este apartado, los sistemas de calefacción, aire acondicionado e iluminación deben ser satisfechos por el diseño e implementación de edificaciones sostenibles, puesto que, su solo diseño persigue aprovechar los recursos naturales existentes para brindar niveles asequibles de confort humanos.

Adicionalmente, la implementación de movilidad eléctrica y medios de transporte no motorizados (bicicletas) constituye una necesidad interna a priori. Esto reduciría las emisiones de carbono en forma inmediata y tangible.

No obstante, es necesario aclarar que, aunque estas medidas reducirían los índices de carbonización existentes en este archipiélago, generan un impacto ambiental mínimo. El empleo de paneles fotovoltaicos demanda considerables áreas para su instalación y posterior a su vida útil, es necesario gestionar su desecho. Los generadores eólicos, por su parte, requieren mantenimientos, y el mero hecho y presencia de sus aspas amenaza la fauna aérea; y, adquiere un sentido de utilización intermitente; sin embargo, existen aerogeneradores sin aspas capaces

de reducir los tamaños considerablemente. Consecuentemente, los sistemas de almacenamiento (baterías), tras cumplir su ciclo útil, deben ser desechados en forma adecuada. Y aunque su vida útil es prolongada, son aspectos no menores y deben ser analizados exhaustivamente.

No obstante, la implementación de todas estas medidas previamente analizadas debe ser acompañada y complementada por una sociedad consciente en aspectos ambientales. Puesto que, si no evolucionamos desde el primer peldaño, los esfuerzos no alcanzarían los objetivos trazados.

La región insular de Galápagos es un ecosistema altamente sensible y su preservación es una necesidad latente, puesto que, áreas de características similares son menores cada vez. Todo accionar generará contaminación en distintas formas y niveles, sin embargo, obligados por una pandemia, el alto a toda actividad humana redujo la huella de carbono. Esto debería ser un indicio para revelar que un esfuerzo global podría frenar las consecuencias climáticas. Descarbonizar el archipiélago de Colón instauraría una guía para todos aquellos ecosistemas en condiciones similares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es evidente y notorio que la descarbonización de las Islas Galápagos constituye una necesidad imperante destinada a preservar su frágil ecosistema y mitigar los efectos derivados del cambio climático existente en la región. Es necesario establecer un compromiso, compartido por entidades gubernamentales, comunidades locales y actores privados, encaminado hacia una nación sostenible.

El análisis desarrollado describe el elevado potencial inherente a aquellas fuentes de energía renovables. Su gradual implementación resulta prioritaria, puesto que, la independencia de combustibles fósiles en este archipiélago debe ser encaminado a cero; y, en consecuencia, las emisiones de carbono disminuirían drásticamente. La adopción y promoción de sistemas energéticos renovables constituyen los cimientos para implementar modelos de transición hacia ambientes totalmente descarbonizados. En nuestro caso de estudio, surge la necesidad de explotar en gran medida los recursos eólicos y solares, garantizando un equilibrio ecológico descrito por los índices de generación y la demanda existente.

Los procesos y / o estrategias de descarbonización requieren un enfoque integral, dado que, abarcan procesos de generación eléctrica, sistemas de transporte sostenible, gestión de residuos y eficiencia energética. Estos enfoques previamente mencionados, juegan un rol esencial en mitigar la huella de carbono existente en las Islas Galápagos, logrando una transformación sostenible en esta región e instaurando un ejemplo a escala global.

Los resultados obtenidos demuestran que el crecimiento poblacional experimentado en el archipiélago de Colón demanda una mayor satisfacción de energía eléctrica. Si la matriz energética existente no implementa en su producción mayores fuentes de energía renovable, las emisiones de carbono ascenderían; y, sin lugar a dudas, erradicaría la fauna y flora existente en la región. El planteamiento de los dos escenarios analizados permite determinar cuan favorable resulta emigrar hacia modelos energéticos renovables.

Para lograr mitigar el índice de carbonización en este caso de estudio, resulta necesaria la participación de diferentes sectores de la nación. Adicionalmente, es vital proporcionar una conciencia energética a nuestra sociedad, sustentada en el eficiente uso de la energía eléctrica. El mero proceso de descarbonización de la región insular de Galápagos demanda campañas de sensibilización, capacitaciones continuas y la participación de todas las áreas profesionales. Esto, denotaría que es posible que tres ámbitos interactúen entre sí: Sector eléctrico, sociedad ambiental e industria turística.

Minimizar la dependencia de los combustibles fósiles, establecer normativas ambientales y transitar hacia modelos sustentables reducen ampliamente el índice de carbonización existente en la región estudiada.

En adición, es recomendable diseñar e implementar políticas, estrategias y regulaciones transparentes para adoptar energías renovables y mitigar los niveles de emisiones de carbono. Para el efecto, es vital otorgar incentivos fiscales estatales, regular estándares de eficiencia y gestionar residuos a través de procesos adecuados.

También es preciso fortalecer las inversiones destinadas a infraestructuras necesarias para generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Esto requiere una planificación apropiada; y, comprender que la dependencia de combustibles fósiles ha significado un impacto ambiental negativo.

Los procesos formativos, las investigaciones y el desarrollo tecnológico deben mantener su continuidad. Esto posibilitará mejorar la eficiencia energética proveniente de las fuentes de carácter renovable y desarrollar soluciones adaptadas a las condiciones únicas de la región insular de Galápagos.

Para lograr descarbonizar este magnífico ecosistema es adecuado también, establecer sistemas de monitorización y evaluación continua para evaluar los progresos alcanzados y realizar ajustes según las necesidades apremiantes. Esto, garantizará la eficacia de las estrategias analizadas; y, hará tangible nuestro objetivo planteado: Descarbonizar las Islas Galápagos.

Las consecuencias ambientales derivadas de la huella humana son perceptibles a grandes rasgos. Obviar su incidencia en nuestra rutina únicamente acelerará una potencial desgracia ambiental; y, alcanzará un punto irreversible si acaso aun no lo ha hecho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Atlas del sector eléctrico ecuatoriano, Quito, 2021

Albrecht, J., Francois, D., & Schoors, K. (2002). A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals. 727-736.

Alcívar, M. I. M., & Guerrero, R. J. A. (2023). Emisión de CO₂ por la generación de electricidad en el Ecuador durante el período 2012-2022. *Revista Social Fronteriza*, 3(2), 169-178.

An analysis of energy consumption on the Galapagos ´ Islands: Drivers of and solutions to reducing residents’ energy consumption. *Sustainable energy mix in fragile environments: frameworks and perspectives*. edited by Mary-Ellen Tyler.

ARCERNNR, Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2022.

Arroyo, F., & Miguel, L. (2019). Análisis de la variación de las emisiones de CO₂ y posibles escenarios al 2030 en Ecuador.

Banco Central del Ecuador. (2014). Estadísticas macroeconómicas. Quito: BCE.

BASANTES ROMERO, J. A., & MACÍAS BERMÚDEZ, M. A. PLANIFICACIÓN DE LA DESCARBONIZACIÓN DE LAS ISLAS GALÁPAGOS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE OPTIMIZACIÓN.

Benito, T. P. (2013). *El universo de las energías renovables* (Vol. 6). Marcombo.

Bernal Bernal, Luis Esteban (2021). Diseño del sistema fotovoltaico para la iluminación ornamental de la iglesia de Turi – Cuenca: Repositorio: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10749>

BP. (2017). *Statistical Review of World Energy*. London: BP.

Buitrón López, M. L. (2015). Cambio de la matriz energética en Santa Cruz–Galápagos, análisis del proyecto de energías renovables para Galápagos (ERGAL) (Master's thesis, Quito, Ecuador: Flacso Ecuador.).

D. Icaza, D. Borge-Diez, Potential Sources of Renewable Energy for the Energy Supply in the City of Cuenca-Ecuador with Towards a Smart Grid, in: 2019 8th Int. Conf. Renew. Energy Res. Appl. ICRERA, 2019: pp. 603–610.

D. Icaza, S. Pulla, I. Colak, C. Flores, F. Córdova, Modeling, Simulation and Stability Analysis of a Low-Wind Turbine for the Supply of Energy to the Amazon Jungle and Galapagos in Ecuador, in: 2018 7th Int. Conf. Renew. Energy Res. Appl. ICRERA, 2018: pp. 100–105.

D.X. Morales, Y. Besanger, S. Sami, C. Alvarez Bel, Assessment of the impact of intelligent DSM methods in the Galapagos Islands toward a smart grid, *Electr. Power Syst. Res.* 146 (2017) 308–320.

ELECGALAPAGOS S.A., 2022.

Elecgalapagos, Electricity Company ELECGALAPAGOS. Statistics: electricity demand of Baltra and Santa Cruz. 2018; (unpublished, institutional information), Galapagos.

Escolano, V. A., & Rosa, E. P. (2005). Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo. *Revista de economía crítica*, (4), 17-37.

Fernandez, S. S., & JUSMET, J. R. (2010). Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: algunos posibles escenarios futuros de emisiones. *Revista Galega de Economía*, 19(1), 1-19.

Fernández-Cuesta, N. (2016). Descarbonización: el vector de la política energética. *Política Exterior*, 30(169), 26-32.

Global solar Atlas v2, Solar resource data: Solargis: <https://globalsolaratlas.info>.

Global Wind Atlas. <https://globalwindatlas.info>.

Icaza-Alvarez, D., Jurado, F., Tostado-Véliz, M., & Arevalo, P. (2022). Decarbonization of the Galapagos Islands. Proposal to transform the energy system into 100% renewable by 2050. *Renewable Energy*, 189, 199-220.

Icaza, D., Jurado, F., & Galindo, S. P. (2020, September). What is of interest that the buildings of the public electrical companies are also provided with solar energy? Case study" Empresa Eléctrica Centro Sur CA" in Cuenca-Ecuador. In *2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)* (pp. 377-383). IEEE.

Icaza, D., Jurado, F., Galindo, S. P., Córdova, F., & Portoviejo, J. (2020, September). Minas of Huasachaca wind project in Ecuador. In *2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)* (pp. 515-519). IEEE.

Iglesias da Cunha, L., Pardellas Santiago, M., & Gradaílle Pernas, R. (2020). Públicos invisibles, espacios educativos improbables: el proyecto “Descarboniza! Que non é pouco...” como educación para el cambio climático. *Pedagogía social: revista interuniversitaria*.

INEC – Instituto Nacional de Estadística y Censos.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2011). Resultados del censo 2010 población y vivienda en el Ecuador. Quito: INEC.

Jàcome, G. R., & Blanco-Romero, A. Galápagos (Ecuador).

Jiménez Mori, R. P. (2022). Análisis del perfil de tensión por la inserción de motocicletas eléctricas en un usuario residencial mediante un modelo cuantitativo (Bachelor's thesis).

Kaya, Y., & Yokobori, K. (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*. Tokyo: United Nations University Press.

Labandeira Rodríguez, X., & Pintos Touriño, P. (2015). Política de descarbonización.

Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2012). Energías renovables y cambio climático. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 37-60.

Lalaleo Martínez, D. S., Loor Mero, A. N., & Paredes Alvarado, R. (2022). Diseño preliminar del sistema propulsor de una embarcación interislas cero emisiones para Galápagos empleando energías renovables (Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCM: Naval).

Lojano-Riera, B. P., Flores-Vázquez, C., Cobos-Torres, J. C., Vallejo-Ramírez, D., & Icaza, D. (2023). Electromobility with Photovoltaic Generation in an Andean City. *Energies*, 16(15), 5625.

Macas León, H. G., & Sánchez Zhunio, A. M. (2022). Abastecimiento de energía mediante un sistema solar fotovoltaico para el Centro Médico Comunitario de Punta Hacienda-Quingeo. Repositorio: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/13122>

M.G. Prina, M. Lionetti, G. Manzolini, W. Sparber, D. Moser, Transition pathways optimization methodology through EnergyPLAN software for longterm energy planning, *Appl. Energy*. 235 (2019) 356-368.

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2016). Agenda nacional de energía 2016-2040. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.

Ministerio de Energía Recursos Renovables y No Renovables, Plan Maestro de Electricidad 2018 - 2027. Quito, 2019.

Ministerio de Energía y Minas, Más de USD 55 millones se han invertido en proyectos de energía renovable, a través de la iniciativa Cero Combustibles Fósiles en Galápagos, 2019.

Miranda, I. (2020). La descarbonización como horizonte. *Cemento Hormigón*, (996), 3.

O.R. Llerena-Pizarro, R.P. Micena, C.E. Tuna, J.L. Silveira, Electricity sector in the Galapagos Islands: Current status, renewable sources, and hybrid power generation system proposal, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 108 (2019) 65–75.

Ojeda, D. (2014). Descarbonización y despojo: desigualdades socioambientales y las geografías del cambio climático. *Desigualdades socioambientales en América Latina*, 255-290.

Parra, R. (2013). Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el período 2001-2011. *Avances*, 5(1), C39-C42.

Renovables, E. (2014). *Energías renovables*. España: Haya comunicación para todos.

Ruchansky, B., Oña Pólit, R., & Moreno, A. (2021). Mecanismos y redes de transferencia de tecnologías de cambio climático en Latinoamérica y el Caribe: experiencias en eficiencia energética y energías renovables.

Ruiz de la Torre, S. G. (2014). Análisis de la implementación de energía renovable como método alternativo de generación de electricidad en el Ecuador con cooperación internacional: caso Galápagos-Proyecto Ergal-Re electrificación con energía renovable en Galápagos" en el período 2007-2011 (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).

Sotomayor Cueva, F. P. (2022). *Diseño y Optimización de Sistemas Eléctricos Renovables Aislados en las Islas Galápagos–Santa Cruz*.

Sotomayor Cueva, F. P. (2022). *Diseño y Optimización de Sistemas Eléctricos Renovables Aislados en las Islas Galápagos–Santa Cruz*.

Sumba Zumba, Edison Hernán (2022). Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para electrolinera en espacios turísticos de uso público – Caso aguas termales de Guapán. Repositorio: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12145>

Urgilés Bermeo, E. X. (2019). Diseño, modelado e implementación de un sistema fotovoltaico para la capilla de la comunidad Macas alto de la parroquia Quingeo del cantón Cuenca. Repositorio: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8250>

Urquiza, J. REVISIÓN DE TEXTOS.

Velasco, J. G. (2009). Energías renovables. Reverte.

Vergara, W., Fenhann, J. V., & Schletz, M. C. (2016). Carbono Cero América Latina-Una vía para la descarbonización neta de la economía regional para mediados de este siglo: Documento de visión.

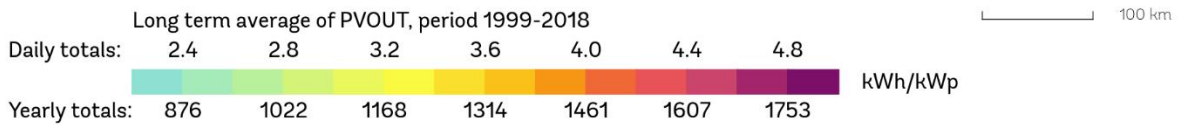
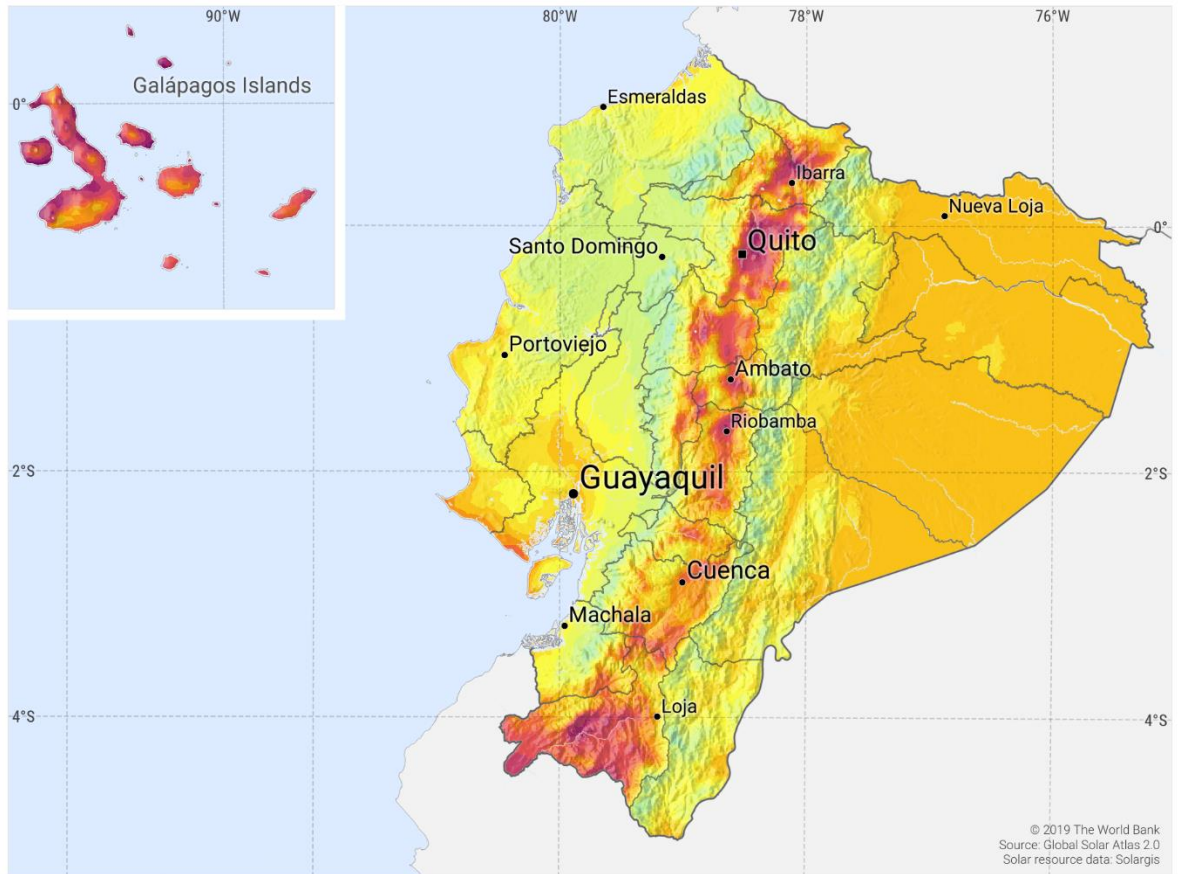
Y. Kuang, Y. Zhang, B. Zhou, C. Li, Y. Cao, L. Li, L. Zeng, A review of renewable energy utilization in islands, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 59 (2016) 504–513.

ANEXOS

Anexo 1: Potencial de energía fotovoltaica (Ecuador).

SOLAR RESOURCE MAP

PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL ECUADOR

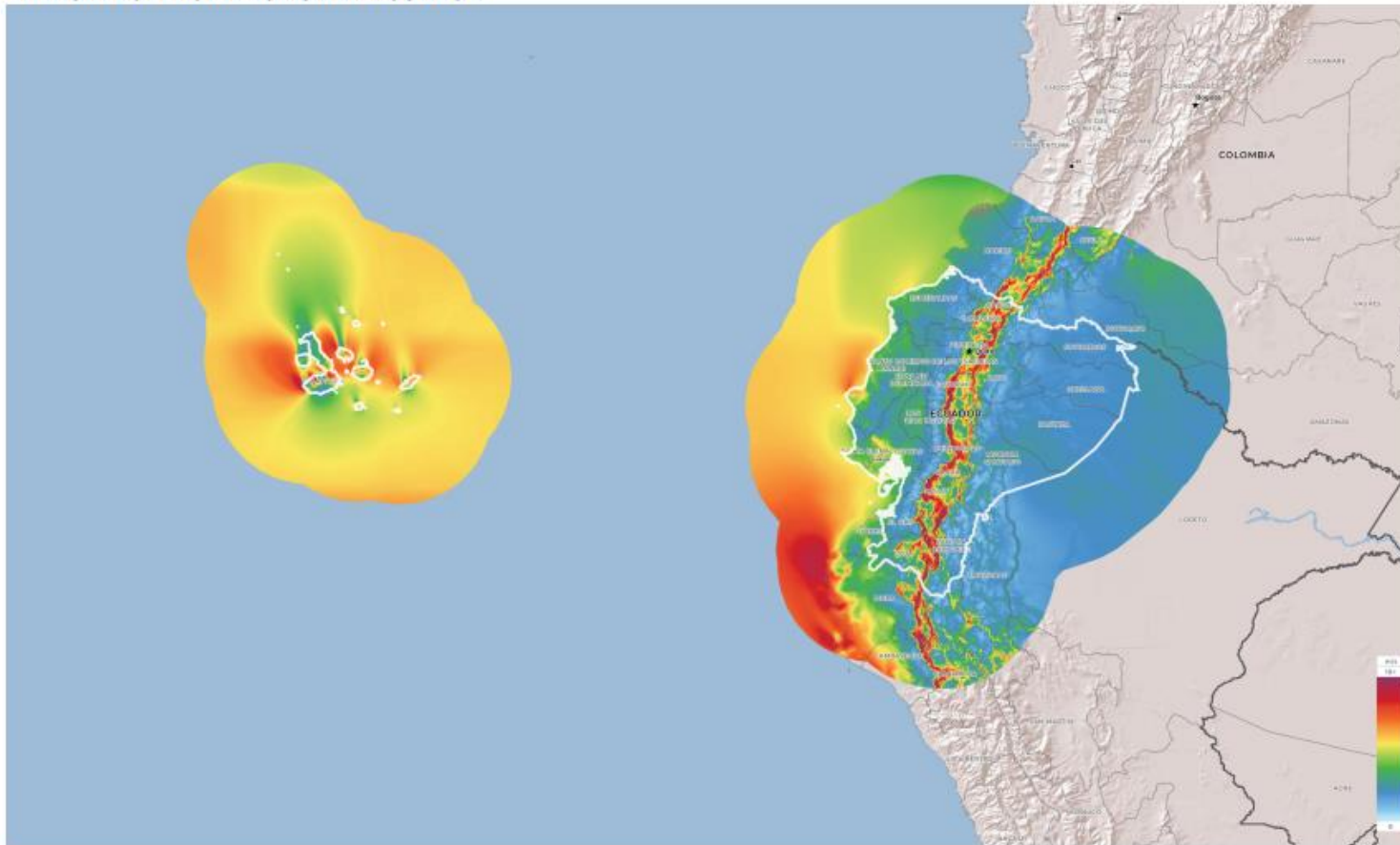


This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Nota: Mapa generado el día 09 de agosto de 2023.

Anexo 2: Potencial de energía eólica (Ecuador).

GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 100m
ENERGÍA POTENCIAL EÓLICA EN ECUADOR

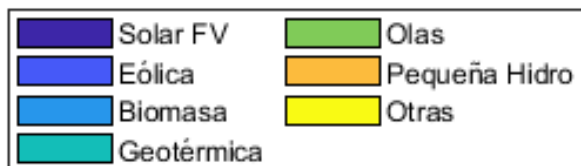
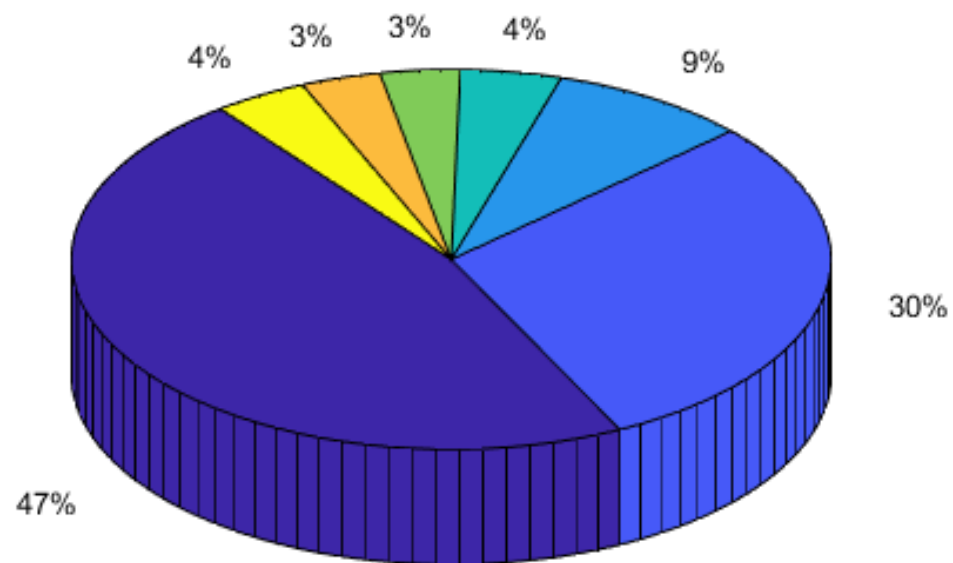


This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v.3.3) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Nota: Mapa generado el día 09 de agosto de 2023.

Anexo 3: Un paso más: Mix energético correspondiente a las Islas Galápagos hacia 2050.

Mix energético proyectado hacia 2050 en las Islas Galápagos



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, David Adrian Inga García portador de la cédula de ciudadanía N.º 0107113946. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis, modelado y simulación para implementar procesos de descarbonización a largo plazo de las islas Galápagos” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de septiembre de 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'David Inga', with a horizontal line drawn through it.

F:

David Adrian Inga García

0107113946