UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA URBANIZACIÓN CIUDAD SANTIAGO COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO.

AUTOR

CARRASCO CRUZ ANGEL GABRIEL

TUTOR

ING. PAZMIÑO VIDAL RONNY MAURICIO, MSC

GUAYAQUIL, ECUADOR

2026

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA URBANIZACIÓN CIUDAD SANTIAGO COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO, realizado por el estudiante CARRASCO CRUZ ANGEL GABRIEL; con cédula de identidad N°0951227594 de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Pazmiño Vidal Ronny, M.Sc

Guayaquil, 19 de octubre del 2026

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA URBANIZACIÓN CIUDAD SANTIAGO COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO", realizado por el estudiante CARRASCO CRUZ ANGEL GABRIEL, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Ortega Ordoñez Carlos, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Amaya Márquez Darlyn, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Guevara Vinza Juan, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Pazmiño Vidal Ronny, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 22 de septiembre del 2026

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación, principalmente a Dios por brindarme vida, salud, sabiduría. A mi familia, especialmente a mi madre y hermana, por su apoyo incondicional, sus valiosos consejos y por ser un pilar fundamental a lo largo de mi formación académica y personal. Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a Aylen, por su constante apoyo, su aporte académico y su acompañamiento durante este proceso. Finalmente, dedico este logro a mis amigos, con quienes compartí momentos significativos que enriquecieron esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza y claridad necesarias durante el desarrollo del presente trabajo de titulación. De manera especial, agradezco a mis docentes por su formación académica, orientación metodológica y transmisión de conocimientos, los cuales fueron fundamentales para mi formación profesional. Asimismo, extiendo mi reconocimiento a mi tutor de tesis, por su guía técnica, acompañamiento constante y valiosos aportes, que contribuyeron significativamente a la culminación exitosa de este estudio.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, ANGEL GABRIEL CARRASCO CRUZ, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA URBANIZACIÓN CIUDAD SANTIAGO COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO" para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 19 de octubre del 2026



CARRASCO CRUZ ANGEL GABRIEL.

C.I. 0951227594

RESUMEN

La presente investigación analizó el potencial de aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, en Guayaquil como respuesta a la problemática de la alta dependencia del sistema eléctrico convencional y la crisis energética evidenciada en el Ecuador. El estudio se fundamentó en bases teóricas relacionadas con energías renovables, huella de carbono y metodologías del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, así como en antecedentes internacionales sobre transición energética comunitaria. Metodológicamente, se empleó un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, utilizando encuestas para caracterizar el consumo energético residencial, análisis de datos de irradiación solar mediante herramientas como Global Solar Atlas, y estimaciones de emisiones de CO_2-eq basadas en factores del IPCC. La población estuvo conformada por 312 viviendas, con una muestra representativa del 24.68%. Los resultados evidenciaron un alto potencial solar con una irradiación promedio superior a 1500 kWh/m²·año, así como una producción estimada de 1205 MWh. En términos ambientales, se determinó que las emisiones por consumo de red eléctrica ascendieron a 181.509 t CO_2-eq/año, mientras que con energía solar se redujeron a 41.042 t CO_2-eq/año, logrando una mitigación significativa de 140.467 t CO_2-eq/año. En conclusión, la implementación de sistemas fotovoltaicos a escala comunitaria constituyó una alternativa técnicamente viable y ambientalmente eficiente para la reducción de la huella de carbono y el fortalecimiento de la sostenibilidad energética local.

Palabras clave: *energía solar fotovoltaica, huella de carbono, transición energética, emisiones de CO_2, sostenibilidad energética.*

ABSTRACT

This study analyzed the potential for harnessing solar photovoltaic energy in the Ciudad Santiago housing development, La Ría phase, in Guayaquil, as a response to the high dependence on the conventional electricity grid and the ongoing energy crisis in Ecuador. The study was grounded in theoretical frameworks related to renewable energy, carbon footprint, and Greenhouse Gas Protocol methodologies, as well as international literature on community-led energy transition. Methodologically, a descriptive quantitative approach was employed, using surveys to characterize residential energy consumption, analysis of solar irradiance data through tools such as the Global Solar Atlas, and estimates of CO_2-eq emissions based on IPCC emission factors. The study population consisted of 312 housing units, with a representative sample of 24.68%. The results revealed high solar potential, with average irradiation exceeding 1500 kWh/m²·year, as well as an estimated energy production of 1205 MWh/year. In environmental terms, it was determined that emissions from electricity grid consumption amounted to 181.509 t CO_2-eq/year, while the implementation of solar energy reduced emissions to 41.042 t CO_2-eq/year, achieving a significant mitigation of 18,109.8840 t CO_2-eq/year. In conclusion, the implementation of community-scale photovoltaic systems proved to be a technically viable and environmentally efficient alternative for reducing the carbon footprint and strengthening local energy sustainability.

Keywords: *solar photovoltaics, carbon footprint, energy transition, CO_2 emissions, energy sustainability.*

INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN iii
DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTO v
Autorización de Autoría Intelectual vi
RESUMEN vii
ABSTRACT viii
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 Antecedentes del problema 1
1.2 Planteamiento y formulación del problema 2
1.2.1. Planteamiento del problema 2
1.2.2. Formulación del problema 3
1.3. Justificación de la investigación 3
1.4. Delimitación de la investigación 5
1.5. Objetivo general 5
1.6. Objetivos específicos 6
1.7. Hipótesis 6
2. MARCO TEÓRICO 7
2.1 Estado del arte 7
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática 9
2.2.1. Energía solar fotovoltaica. 9
2.2.1.1. Tipos de paneles solares fotovoltaicos 10
2.2.2. Autoconsumo solar fotovoltaico 12
2.2.3. Energía solar pasiva 12
2.2.4. Energía solar térmica 13
2.2.4.1. Placas solares térmicas 13
2.2.5. Capacidad de energía renovable en Ecuador. 13
2.2.6. Huella de carbono 14
2.2.7. Protocolo de gases de efecto invernadero (GEI) 16
2.2.7.1. Metodología de cálculo. 16
2.3 Marco legal 17
2.3.1. Constitución De La República Del Ecuador (2008) 17
2.3.2. Ley Orgánica Del Servicio Público De Energía Eléctrica (2015) 18

2.3.3. Ley Orgánica De Eficiencia Energética (2019) 19
2.3.4. Ley Orgánica De Competitividad Energética (2024) 19
2.3.5. Manual de instalación de sistemas de generación distribuida (2025) 19
2.3.6. Acuerdo de Paris (2015) 20
2.3.7. Norma Internacional ISO 14067 (2018) 20
2.3.8. Norma Internacional ISO 50001 (2018) 20
3. MATERIALES Y MÉTODOS 22
3.1. Enfoque de la investigación 22
3.1.1. Tipo y alcance de la investigación 22
3.1.1.1. Tipo de investigación 22
3.1.1.2. Alcance de la investigación 22
3.1.2. Diseño de investigación 22
3.2. Metodología 22
3.2.1. Variables 22
3.2.1.1. Variable independiente 22
3.2.1.2. Variable dependiente 23
3.2.2. Matriz de operacionalización de variables 23
3.2.3. Recolección de datos 23
3.2.3.1. Recursos 23
3.2.3.2. Métodos y técnicas 23
3.2.4. Población y muestra 24
3.2.4.1. Población 24
3.2.4.2. Muestra 24
3.2.5. Análisis estadístico 24
3.2.5.1. Preguntas para la encuesta 25
4. Resultados. 26
4.1. Diagnóstico energético y socioambiental de la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría 26
4.2. Potencial de generación de energía solar en la zona de estudio 33
4.2.1. Promedios mensuales. 33
4.2.2. Horizonte y trayectoria solar 35
4.2.3. Perfiles horarios promedios 36
4.2.4. Area total del techo 39
4.2.5. Inclinación del techo 40

4.2.6. Sistema fotovoltaico 41
4.3. Reducción de la huella de carbono eléctrica por sustitución fotovoltaica 47
4.3.1. Identificación de fuente 47
4.3.2. Selección de método de cálculo 47
4.3.3. Factor de emisión 48
4.3.4. Calculó de emisión de dióxido de carbono (CO2) 49
4.3.4. Reducción de emisiones 51
5. DISCUSIÓN 53
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 55
6.1. Conclusiones 55
6.2. Recomendaciones 56
7. BIBLIOGRAFÍA 57
8. Anexos 65

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Mapa de la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría 5
Figura 2. Sistema solar fotovoltaico. 10
Figura 3. Características del hogar y uso del aire acondicionado. 27
Figura 4. Consumo electrico y comportamiento de la factura..... 28
Figura 5. Percepción de los beneficios de la energía solar 30
Figura 6. Disposición para adoptar energía solar..... 31
Figura 7. Equipos electricos y beneficios al uso de la energía solar 32
Figura 8. Promedios mensuales..... 35
Figura 9. Horizonte y trayecto solar..... 36
Figura 10. Potencia fotovoltaica total generada (Wh)..... 37
Figura 11. Intervalos de horarios diarios 38
Figura 12. Techo de la casa..... 39
Figura 13. Diferencia de emisiones CO2..... 50
Figura 14. Comparativa de emisiones de CO2..... 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operación de variables. 23
Tabla 2. Kit solar de 3 KW 42
Tabla 3. Comparación del número de paneles solares necesarios. 45

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Enfoque del factor de emisión para el cálculo de las emisiones de GEI 17

Ecuación 2. Fórmula para calcular la media aritmética muestral 24

Ecuación 3. Fórmula para calcular la desviación estándar muestral 24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Capacidad energética del Ecuador. 65
Anexo 2. Encuesta a moradores de la etapa La Ría 65
Anexo 3. Perfil horario promedio de Enero y Febrero 68
Anexo 4. Perfil horario promedio de Marzo y Abril 68
Anexo 5. Perfil horario promedio de Mayo y Junio 69
Anexo 6. Perfil horario promedio de Julio y Agosto 69
Anexo 7. Perfil horario promedio de Septiembre y Octubre 69
Anexo 8. Perfil horario promedio de Noviembre y Diciembre 70
Anexo 9. Potencia fotovoltaica 70

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Diversas investigaciones han señalado la necesidad de diversificar la matriz energética en países de América Latina, particularmente en aquellos con alta dependencia de fuentes hidroeléctricas, como es el caso de Ecuador. Un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2024) destacó que, la vulnerabilidad de las hidroeléctricas ante fenómenos climáticos como El Niño o periodos prolongados de sequía incrementa el riesgo de crisis energéticas, lo que demanda la incorporación de tecnologías renovables como la energía solar y eólica.

En Ecuador, el Ministerio de Energía y Minas (2023) reconoció la urgencia de impulsar la generación distribuida mediante fuentes renovables no convencionales, especialmente en zonas residenciales urbanas. Este planteamiento ha cobrado mayor relevancia tras la crisis energética de 2024, cuando la escasez de lluvias afectó severamente la generación hidroeléctrica y provocó cortes eléctricos prolongados en todo el país, incluyendo la ciudad de Guayaquil. Esta situación evidenció la fragilidad del sistema eléctrico y la necesidad de alternativas sostenibles para abastecer la demanda.

En 2023, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) destacó el potencial de energía solar de Ecuador, especialmente en la región costera, que presenta una radiación solar diaria promedio superior a 4,5 kWh/m2. Aun así, este potencial permanece subutilizado en las zonas residenciales urbanas, principalmente a nivel comunitario, por tanto, se interpreta una valiosa oportunidad para investigar su viabilidad técnica y ambiental.

En diversos territorios de Latinoamérica, como Perú, Colombia y México, se han realizado estudios para evaluar el potencial solar en sociedades determinadas. Estos estudios han permitido identificar beneficios importantes como la disminución del gasto energético, el aumento de la autonomía eléctrica local y, especialmente, la reducción de la huella de carbono generada por el consumo eléctrico proveniente de fuentes fósiles o no renovables.

En el caso de Ecuador, algunas experiencias piloto se han desarrollado en instituciones educativas, edificios públicos y sectores rurales, pero existe una limitada cantidad de investigaciones que aborden la transición energética desde

una perspectiva comunitaria urbana. Tampoco se han realizado estudios descriptivos que evalúen el impacto potencial de la energía solar en urbanizaciones periféricas de ciudades como Guayaquil, donde existe crecimiento poblacional y un aumento progresivo de la demanda eléctrica residencial.

La urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, representa un caso de estudio relevante por sus características geográficas, su exposición solar favorable y su condición de sector residencial en expansión. Sin embargo, no se han identificado estudios técnicos que valoren el potencial solar de esta comunidad, ni análisis que estimen la reducción de huella de carbono asociada a la implementación de sistemas fotovoltaicos a nivel domiciliario o comunitario.

Este estudio buscó subsanar la falta de información en la literatura técnica nacional acerca de esta materia, mediante un análisis descriptivo que evalúa la viabilidad y los posibles impactos ambientales de la adopción de la energía solar de este modo aportar a la transición energética en la localidad. Los datos deseados podrían ser aprovechados de base para posteriores tomas de decisiones nacionales como gubernamentales, contribuyendo así a un proyecto energética más sostenible y adaptable.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1. Planteamiento del problema

En el año 2024, la localidad de Guayaquil, a la vez con otras zonas de Ecuador, sufrió una preocupante crisis energética caracterizada por cortes de luz planificados que se prolongaron durante aproximadamente tres meses, de septiembre a diciembre. Estos cortes, que en ocasiones duraron hasta 12 horas diarias, no solo alteraron la vida cotidiana de la población, dificultando actividades esenciales como el empleo, la educación y los negocios, sino que también tuvieron repercusiones negativas en la economía regional, mayormente en la industria y el comercio (Primicias, 2024).

La falta de electricidad, superior a 1.080 megavatios, fue la principal causa de la situación crítica (Moncada Pesantes, 2024). Esto se vio agravado por la gran dependencia del país de la energía hidroeléctrica. La sequía prolongada redujo considerablemente los niveles de los embalses que alimentan las centrales hidroeléctricas principales, como Mazar y Paute, afectando su producción energética. El mantenimiento inadecuado de las centrales térmicas e

hidroeléctricas empeoraron la situación, creando una red eléctrica débil y vulnerable al colapso debido a la insuficiencia de fuentes de energía de respaldo.

Este entorno subraya la urgente necesidad de ampliar las fuentes de energía en Ecuador, promoviendo la integración de energías renovables como la solar y la eólica. Esto podría reducir la dependencia de la energía hidroeléctrica y mejorar la estabilidad del sistema eléctrico. No obstante, aunque existen beneficios obvios y la alta disponibilidad de recursos solares en zonas urbanas como Guayaquil, la aceptación comunitaria de estas tecnologías sigue siendo escaso, deja un vacío en el conocimiento científico sobre su verdadero potencial y las estrategias efectivas para su instauración en el territorio.

La urbanización Ciudad Santiago en Guayaquil sirve como ejemplo ideal para analizar la viabilidad de la energía solar como alternativa para la transición energética a nivel comunitario. Esto podría contribuir a reducir la huella de carbono y, al mismo tiempo, mitigar los efectos de la crisis energética en la región. La falta de información sobre la capacidad de instalación disponible, las características socioambientales de la zona y la viabilidad de un modelo de transición energética comunitario son cuestiones importantes que dificultan la toma de decisiones informadas y el diseño de medidas efectivas para asegurar un abastecimiento energético sostenible y fiable.

Por lo tanto, resulta fundamental investigar y describir científicamente el potencial de energía solar en esta urbanización, sus beneficios ambientales y su papel en la reducción de la huella de carbono, con el fin de ofrecer un aporte significativo al desarrollo de soluciones energéticas locales y la mejora de la calidad de vida de sus habitantes, en un contexto nacional marcado por la urgencia de diversificar y fortalecer la matriz energética.

1.2.2. Formulación del problema

¿Cuál es el potencial de generación de energía solar en la urbanización Ciudad Santiago, y cómo podría este contribuir a una transición energética comunitaria que permita reducir la huella de carbono?

1.3. Justificación de la investigación

La investigación actual se realizó debido a la urgencia de encontrar soluciones sostenibles y resilientes frente a la crisis energética que enfrenta Ecuador, agravada por su alta dependencia de fuentes hidroeléctricas y la variabilidad

climática. En 2024, los prolongados apagones eléctricos evidenciaron la fragilidad del sistema energético nacional y el impacto negativo que esto genera en la vida cotidiana de los ciudadanos, especialmente en zonas urbanas como Guayaquil. El panorama, la energía solar se muestra como una opción válida, limpia y asequible para mejorar la seguridad energética a nivel residencial.

Este análisis es valioso porque tuvo como objetivo examinar la viabilidad de instalar paneles solares en la urbanización de Ciudad Santiago, en la fase La Ría, un área residencial con características geográficas que favorecen el uso de la energía solar. Al reconocer la idoneidad técnica y calcular la reducción de emisiones de carbono mediante una transición energética en la residencia, se facilitaron los datos concretos para futuras estrategias de acción ambiental, proyectos de localidades o regulaciones públicas enfocadas en la sostenibilidad urbana.

Considerando un enfoque ecológico, el estudio facilitó la conexión entre la adopción de energías limpias y la reducción del calentamiento global, ya que contribuye directamente a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de electricidad tradicional. Además, promovió una mayor conciencia energética en la comunidad, impulsando la cooperación vecinal en iniciativas que benefician tanto al medio ambiente como al bienestar humano.

En cuanto a su contribución teórica y científica, el estudio amplió el conocimiento existente sobre la transición energética comunitaria, la generación distribuida y la energía limpia en entornos urbanos de países en desarrollo. La falta de investigaciones similares en zonas residenciales de Guayaquil convierte a este estudio en un valioso punto de partida para futuras propuestas de investigación práctica, así como para su replicación en otras áreas urbanas y para el diseño de sistemas energéticos descentralizados.

Así mismo, los resultados de esta investigación pueden servir de base para futuras decisiones técnicas, sociales o normativas, permitiendo que organismos como las administraciones locales, los grupos ecologistas y los comités vecinales definan proyectos energéticos más sustentables. En consecuencia, la investigación no solo es relevante por su enfoque ambiental, sino también por su alcance social, técnico y educativo.

En definitiva, esta tesis se justifica por su pertinencia ante una problemática real y actual, su aporte a la sostenibilidad energética local y su contribución al desarrollo científico en el campo de la Ingeniería Ambiental.

1.4. Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se desarrolló en la urbanización Ciudad Santiago, específicamente en la etapa La Ría, ubicada en el kilómetro 19.5 de la vía a Daule, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador
- **Tiempo:** Se llevó a cabo durante un período estimado de seis meses de septiembre a febrero, 2025.
- **Población:** Para los moradores de la etapa La Ría, en el que existe un total de 312 casas.

Figura 1.

Mapa de la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría



Elaborado por: El Autor, 2025

1.5. Objetivo general

Analizar el potencial de aprovechamiento de la energía solar en la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, Guayaquil, mediante la evaluación del consumo eléctrico residencial y la estimación de la generación fotovoltaica,

enfocado en la determinación del impacto en la reducción de la huella de carbono eléctrica.

1.6. Objetivos específicos

- Caracterizar el contexto energético residencial de la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, mediante la aplicación de encuestas para el análisis de la demanda eléctrica y las características socioambientales, con el fin de la obtención de un diagnóstico detallado que sirva como base para futuras estrategias de transición energética.
- Identificar el potencial de generación de energía solar en la zona mediante fuentes secundarias y herramientas de estimación.
- Cuantificar la reducción de huella de carbono eléctrica, con el propósito de la valoración del impacto ambiental del reemplazo de la electricidad convencional por energía solar fotovoltaica.

1.7. Hipótesis

La implementación de una estrategia comunitaria de generación fotovoltaica con 5 paneles solares por vivienda en la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, la cual alcanza una capacidad de generación del 104**%** de la demanda, contribuirá significativamente a la disminución de la huella de carbono eléctrica en un 81.5**%**.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En España se realizó un estudio con el tema “Transición Energética y Eco social: Aprovechamiento del Potencial Solar para una Comunidad Energética en Orcasitas”, evaluaron la posibilidad de establecer una comunidad de energía sostenible, centrada en el uso de la energía solar fotovoltaica en Orcasitas, Madrid. Este poblado se localiza al sur de la ciudad, dentro del distrito de Usera, y se considera un barrio vulnerable. De acuerdo con su ficha de Área Estadística Vulnerable (AEV), tenía los siguientes datos demográficos: 11.950 habitantes, 4.985 viviendas. Los resultados indican un potencial prometedor, con más de 6,5 MWp disponibles en techos, que podrían generar alrededor de 8.500 MWh anuales, cubriendo aproximadamente la mitad del consumo eléctrico calculado para todas las viviendas del barrio (Domínguez et al, 2024).

De acuerdo Merritt y Vilchis Flores (2023), China se estableció como el país líder en la producción y el uso de energía solar gracias a diversas variables decisivos. Principalmente, su progreso se debe a la urgente necesidad de combatir el cambio climático a través la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ha impulsado la energía solar como alternativa a los combustibles fósiles desde 1981. Esta decisión ha tenido un impacto significativo en la reducción de la huella de carbono, tanto a nivel nacional como internacional.

Por otra parte, el desarrollo del comercio solar global, impulsado por incentivos para la instalación de paneles en diversas industrias, ha permitido a China expandir su mercado interno y beneficiarse de las economías de escala, lo que ha conllevado una considerable reducción de los costes de producción. Un tercer factor importante ha sido la financiación pública para la investigación y el desarrollo, que ha fomentado mejoras en la eficiencia, la calidad y los métodos de producción de las células fotovoltaicas, además de generar un número significativo de patentes que han fortalecido la posición tecnológica del país. Al final, desde 2015, el gobierno chino ha implementado estrategias de gestión que han permitido a sus empresas establecer una presencia global, aprovechando su ventaja en costes para mejorar la accesibilidad de los paneles solares y asegurar una posición destacada en el mercado internacional.

La investigación realizada por Corado (2025) destaca el papel clave que juega Centroamérica en el cambio global hacia la energía sostenible, dado que el Sistema de Interconexión Eléctrica Centroamericana (SIEPAC) reúne un 66% de energías renovables, situando a la región como referente mundial. La crisis medioambiental y el Acuerdo de París fomentan la reducción de las emisiones de carbono, mientras que la energía limpia aumenta la estabilidad energética, disminuye la necesidad de combustibles fósiles y crea empleos sostenibles.

Desde 2020 hasta 2025, la zona centroamericana experimentó un aumento constante de las fuentes de energía renovables, con especial énfasis en la energía solar fotovoltaica, pasando de 202 MW en el año 2012 a 3.276 MW en 2024, lo que supone un incremento del 295% entre 2019 y 2024.

Esto la posiciona como la cuarta fuente más relevante de capacidad instalada, superando en nuevas adiciones a la hidroeléctrica y nuclear. La energía eólica también creció, aunque en menor medida, alcanzando 1.846 MW en 2024, un 87% más que en 2020. Honduras y Nicaragua figuran entre los países con mayor penetración de renovables variables, sobresaliendo Honduras como líder mundial no insular en energía solar. La biomasa, principalmente mediante la cogeneración con bagazo de caña, suma 1.328 MW, concentrándose en Guatemala, donde los ingenios azucareros aportaron el 30% del consumo eléctrico nacional en la época seca de 2023-2024.

Bertinat y Navntoft (2024) analiza el potencial de la energía solar térmica en Colombia, destacando sus ventajas como alternativa o complemento al gas natural en aplicaciones como agua caliente, calefacción, enfriamiento, cocción y procesos industriales.

Los hallazgos señalan que los sectores con mayor proyección son el residencial, hotelero, industrial y de salud. En particular, en los hogares los sistemas solares térmicos podrían reducir hasta un 40% del consumo de gas natural. Aunque en los demás sectores no se cuenta con datos precisos, se reconoce un alto potencial de ahorro. Además, se plantea que el impulso a esta tecnología no solo favorece la eficiencia energética, sino que también representa una oportunidad para fortalecer el derecho a la energía, promover equidad social, generar empleo y fomentar la participación comunitaria.

En Ecuador, el estudio de Inca et al. (2023) examinaron el potencial de la energía solar en Ecuador y las acciones gubernamentales para impulsar las

energías renovables, con la meta de alcanzar un 15% de participación en la matriz energética hacia 2030.

Informes de la IRENA señalan que el país se encuentra en una de las regiones con mayor radiación solar del mundo, lo que representa una oportunidad estratégica para el desarrollo fotovoltaico. Dado que la generación eléctrica es responsable de alrededor del 40% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, la implementación de sistemas solares podría contribuir de manera significativa a su reducción. En este contexto, se resalta la importancia de incentivar a empresarios, emprendedores y ciudadanos a adoptar tecnologías limpias, acompañadas de una mayor concienciación sobre estilos de vida sostenibles y responsables con el medio ambiente.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1. Energía solar fotovoltaica.

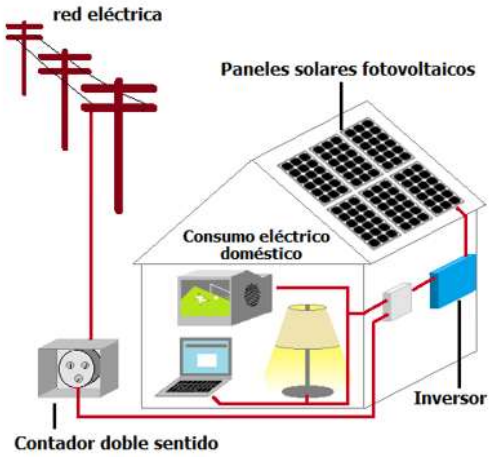
La energía solar fotovoltaica aprovecha la luz solar para generar electricidad mediante paneles compuestos por celdas que convierten los fotones en electrones. Este proceso permite obtener de manera directa energía eléctrica a partir de la radiación del sol.

Los paneles solares, fabricados principalmente con células de silicio, transforman la luz en electricidad y pueden instalarse tanto en viviendas y edificios para uso doméstico como en grandes infraestructuras. Según su finalidad, se clasifican en:

- Placas solares destinadas al autoconsumo
- Plantas fotovoltaicas orientadas a la producción de energía a gran escala (Grupo NAP, 2025).

Figura 2.

Sistema solar fotovoltaico.



Fuente: SEMS paneles solares, 2025.

Todos los paneles solares fotovoltaicos operan bajo el mismo principio: el efecto fotovoltaico de sus células, el efecto fotovoltaico es el proceso mediante el cual una célula solar genera voltaje o energía eléctrica al capturar la luz solar. Gracias a este proceso, los paneles solares pueden transformar la luz del sol en electricidad utilizable (Rodríguez et al., 2020). Este principio fue identificado en 1839 por Edmond Becquerel, quien, al experimentar con células húmedas, notó que el voltaje aumentaba cuando las placas de plata eran expuestas a la luz solar (University of Calgary, 2025).

Cuando la radiación solar incide sobre el panel, los materiales semiconductores, como el silicio, absorben la energía y excitan sus átomos. Este proceso libera electrones dentro de cada célula, iniciando la generación de electricidad. Cada célula produce un voltaje máximo cercano a 2 Vdc, alcanzado cuando la radiación solar es intensa y perpendicular a la superficie.

Dado que las células se conectan en serie, el voltaje total del panel depende de su número, siendo común obtener valores de 12, 24 o 36 Vdc nominales. Como esta energía es de corriente continua (DC), para utilizarla en el hogar es necesario convertirla en corriente alterna (AC) mediante un inversor, el cual no forma parte del panel solar (Rodríguez et al., 2020).

2.2.1.1. Tipos de paneles solares fotovoltaicos

De acuerdo con Adeleke (2023) los paneles solares fotovoltaicos se clasifican en tres tipos según el silicio de sus celdas: monocristalinos, policristalinos y de

capa fina (thin film o amorfos). A estos se suman diversas tecnologías como HJT, PERC, N-Type o TOPCon, que optimizan su rendimiento.

En particular, los **monocristalinos** están compuestos por celdas de un solo cristal de silicio fabricadas mediante el proceso Czochralski. Ofrecen una eficiencia promedio entre el 17% y el 22%, destacando por su alto rendimiento, menor degradación y larga durabilidad, aunque su costo suele ser más elevado frente a otros tipos de paneles.

Los paneles monocristalinos se dividen en distintas tecnologías que destacan por su eficiencia y características:

- **Tecnología Monocristalinos PERC:** Eficiencia del 19% al 21%, los más comercializados por su buena relación calidad-precio.
- **Tecnología Monocristalina Tipo N:** Alcanzan entre 21% y 23%, fabricados con materiales de mayor calidad que los convencionales.
- **Tecnología Monocristalina IBC:** De contactos traseros, generalmente tipo N, con eficiencia entre 21% y 23%, superiores al promedio.
- **Tecnología Monocristalina Tándem, como HJT:** Combinan distintas celdas (monocristalinas y amorfas, incluso perovskita en pruebas), con potencial de mejora y eficiencia entre 21% y 23%.
- **Paneles bifaciales:** Captan energía por ambas caras, aumentando la eficiencia en un 5% a 10% adicional.

Los paneles solares **policristalinos** están formados por múltiples cristales de silicio fundidos, lo que abarata su producción, aunque su eficiencia es menor (16%–18%) y presentan mayor degradación y menor vida útil. Su principal ventaja es el precio más bajo en comparación con los monocristalinos.

Los paneles de **capa fina (thin film)** utilizan materiales fotovoltaicos como silicio amorfo, CdTe o CIGS depositados sobre vidrio, plástico o metal. Destacan por su flexibilidad y bajo costo, aunque tienen menor eficiencia y se degradan más rápido. Entre ellos se encuentran:

- **CIGS**: fabricados con cobre, indio, galio y selenio; ofrecen mejor rendimiento dentro de su tipo y pueden ser flexibles.
- **Amorfos**: hechos con silicio amorfo, presentan baja eficiencia y están en desuso, no recomendados para viviendas.
- **CdTe**: utilizan capas de telururo de cadmio y sulfuro de cadmio.

En cuanto a tecnologías experimentales, destacan:

- **Células Graetzel**, que emplean tintes fotosensibles y son útiles en edificaciones por su transparencia.
- **Perovskita**, que sustituye el silicio por un compuesto cristalino del mismo nombre; aún en fase de desarrollo, pero con gran potencial.

2.2.2. Autoconsumo solar fotovoltaico

Según Rodríguez et al. (2020), el autoconsumo solar fotovoltaico, también denominado autoconsumo eléctrico, representa una alternativa al modelo convencional, ya que posibilita que los usuarios produzcan su propia energía. Esto les brinda mayor independencia y una reducción en los costos de electricidad. La energía se obtiene mediante paneles solares fotovoltaicos, que convierten la radiación solar en electricidad utilizable en los hogares.

Las instalaciones de paneles solares para autoconsumo están dirigidas a hogares y negocios que buscan reducir su gasto energético, y generalmente no superan los 100 kW de capacidad instalada.

Los elementos esenciales de una instalación de paneles solares son:

- **Paneles solares**: encargados de producir electricidad a partir de la radiación solar.
- **Baterías de almacenamiento**: permiten guardar la energía generada para emplearla en distintos momentos del día.
- **Inversores solares**: transforman la energía para su uso doméstico y su integración en la red eléctrica.
- **Contadores**: registran la cantidad de energía producida por el sistema de autoconsumo.

2.2.3. Energía solar pasiva

La energía solar pasiva representa un método sostenible y eficiente para utilizar la energía solar en el calentamiento, enfriamiento o iluminación de espacios de manera natural, sin requerir dispositivos mecánicos o eléctricos. Se basa en el uso de elementos naturales del entorno, por lo que es necesario diseñar el edificio de forma estratégica, considerando su orientación hacia el sol y empleando materiales con características térmicas específicas, con el fin de optimizar la absorción y retención del calor solar (Frausto, 2026).

Conforme a Fernandez (2021) antes de llevar a cabo cualquier edificación que implique un diseño solar pasivo, es fundamental conocer ciertas consideraciones

básicas que nos permitirán comprender su funcionamiento de manera más detallada. A continuación, se presentan los componentes que juegan un papel:

- Ubicación de ventanas y tipo de acristalamiento.
- Aislamiento térmico.
- Masa térmica.
- Sombras.

2.2.4. Energía solar térmica

La energía solar térmica, comúnmente llamada termo solar, aprovecha la radiación solar para producir calor, que puede ser utilizado en aplicaciones domésticas, industriales o para la generación de electricidad. Este procedimiento se efectúa a través de espejos o colectores que concentran la luz solar en un receptor, alcanzando temperaturas que se acercan a los 1000 °C. El calor generado calienta un líquido que produce vapor, el cual activa una turbina y genera energía eléctrica. En términos generales, los sistemas termo solares utilizan paneles o espejos que capturan y transmiten el calor del sol a un fluido, permitiendo su utilización directa en edificios o en la generación de electricidad termoeléctrica (Osornio et al., 2022).

2.2.4.1. Placas solares térmicas

Cordero (2025) expresa que, los captadores solares térmicos se clasifican según el tipo de colector y su rango de operación en **tres categorías**:

- **Baja temperatura (hasta 50 °C):** incluyen los colectores planos, empleados principalmente para calentar agua doméstica y piscinas, y los colectores de aire, usados en calefacción de espacios y procesos de secado.
- **Media temperatura (hasta 90 °C):** representados por los colectores de tubos de vacío (*heat pipe*), más eficientes que los planos, aplicados en sistemas de agua caliente y calefacción de mayor exigencia.
- **Alta temperatura (hasta 150 °C):** abarcan los colectores de alta concentración, que concentran la radiación solar en un punto mediante espejos o lentes, y los parabólicos, que usan espejos curvos para generar vapor y producir electricidad en plantas termoeléctricas.

2.2.5. Capacidad de energía renovable en Ecuador.

La información proporcionada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) (2025), procesada y organizada en este estudio, revela que,

en el contexto energético del Ecuador, la generación eléctrica se caracteriza por una fuerte dependencia de la hidroenergía, que en el 2024 analizado alcanzó más de 5419,16599 MW instalados, lo que representa la base principal de la matriz energética nacional. Sin embargo, esta dependencia ha evidenciado vulnerabilidades frente a fenómenos climáticos como sequías prolongadas. Además, se incluyen las centrales térmicas no renovables, que generaron aproximadamente 3.569.073.621 MW. Estas fuentes, a pesar de proporcionar soporte energético, agravan la huella de carbono y aumentan la dependencia de los combustibles fósiles introducidos.

Acerca de las fuentes de energía renovables alternativas, los registros señalan que la energía eólica tan solo ha llegado los 71,13 MW, en tanto que la energía térmica renovable (biomasa y otras) ha alcanzado a los 166,42 MW. Estas estadísticas evidencian un progreso limitado en la diversificación de la matriz energética, que aún está dominada por la generación hidroeléctrica y la generación térmica tradicional. Esta situación subraya la urgente necesidad de implementar políticas que promuevan la adopción de tecnologías sostenibles en entornos urbanos y comunitarios.

En cuanto a la energía solar, en 2016 el espacio era de 26,47 MW, aumentando ligeramente a 27,62 MW en 2020 y alcanzando los 29,12758 MW en 2024. A pesar de esta tendencia al alza, el incremento es pequeño en comparación con el potencial solar disponible en la región costera de Ecuador, donde la radiación promedio supera los 4,1 kWh/m²/día (Tapia et al, 2023).

Estos hallazgos evidencian que, a pesar de su gran capacidad, la energía solar no se ha utilizado ampliamente en Ecuador, especialmente en zonas rurales y en urbanizaciones. Su progreso está retrasado con respecto a la creciente demanda de electricidad y los retos que plantea la inestabilidad energética de 2024. Por lo tanto, es vital promover iniciativas de generación suministrada y en localidades que permitan el uso de la radiación solar como una forma de minimizar la huella de carbono y ampliar el sistema energético nacional.

2.2.6. Huella de carbono

La huella de carbono es una forma de evaluar el impacto de las acciones humanas en el cambio climático, indicando el total de gases de efecto invernadero emitidos, ya sea directa o indirectamente, en términos de equivalentes de CO_2. Actúa como una herramienta de gestión que ayuda a medir

las acciones y comportamientos en personas, organizaciones o territorios (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2025).

Se puede medir utilizando diversos métodos y enfoques aceptados a nivel mundial. En el entorno empresarial, las emisiones de una empresa se analizan durante un período específico y se organizan en tres categorías: emisiones directas (Alcance 1), que se generan a partir de fuentes internas o bajo su control, como combustibles o sistemas de aire acondicionado; emisiones indirectas debidas al consumo de energía (Alcance 2), que están relacionadas con la electricidad o el vapor adquiridos a proveedores externos; y otras emisiones indirectas (Alcance 3), que están relacionadas con actividades externas como el transporte, los viajes de negocios o el manejo de residuos.

El análisis del ciclo de vida examina los impactos ambientales de un producto o servicio desde su creación hasta el final de su vida útil. Este enfoque es común en Europa y Japón y se ha extendido a los países exportadores, promoviendo la certificación ecológica de productos. Entre las técnicas más importantes se encuentra la norma PAS 2050:2011, creada por el Grupo BSI, que indica estándares uniformes para cuantificar las emisiones a lo largo del ciclo de vida de productos y funciones.

El enfoque individual considera las emisiones directas e indirectas producidas por una persona en un tiempo dado, considerando sus patrones de consumo, medios de transporte y estilo de vida. Se utiliza como parámetro para medir el impacto de las actividades diarias en el cambio climático y como herramienta para generar conciencia. Por tanto, la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente de Chile ha creado calculadoras interactivas que facilitan la estimación de la huella de carbono personal y ofrecen consejos prácticos para reducir las emisiones y optimizar la gestión de recursos.

La perspectiva geográfica se basa en examinar las emisiones de gases de efecto invernadero en un área específica, determinada por límites o divisiones político-administrativas, como una ciudad, una región o una isla. Este sistema facilita la medición de las emisiones en un área determinada, el análisis de su impacto en el cambio climático y el diseño de estrategias de mitigación más eficaces y adaptadas a dicha área.

Conforme con Aenor (2025), las verificaciones de producto o servicio se clasifican en cuatro tipos:

1. **CO2 Calculado:** confirma que los cálculos de la huella de carbono del producto o servicio, considerando todas las emisiones de gases que causan el calentamiento global a lo largo de su duración, son correctos.
2. **CO2 Reducido:** la organización debe demostrar una disminución de emisiones respecto al año anterior, renovando anualmente el derecho de uso.
3. **CO2 Compensado:** se restan de la huella de carbono las emisiones que han sido neutralizadas mediante sumideros de carbono u otros mecanismos de compensación.
4. **Carbono Neutro:** se calcula la huella de carbono según estándares internacionales, se implementa un plan para reducir las emisiones y aquellas que persisten se compensan de acuerdo con los métodos aprobados; actualmente se usa la norma PAS 2060:2014 como referencia.

2.2.7. Protocolo de gases de efecto invernadero (GEI)

El Protocolo de GEI proporciona un marco global, estandarizado y completo para la medición y gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por operaciones de los sectores público y privado, así como a lo largo de las cadenas de valor y en iniciativas de mitigación.

Este protocolo surge de una colaboración de más de dos décadas entre el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), y se desarrolla en conjunto con gobiernos, asociaciones industriales, organizaciones no gubernamentales, empresas y diversas instituciones (Greenhouse Gas Protocol, 2025).

2.2.7.1. Metodología de cálculo.

Según Kean et al, (2025) las técnicas para el cálculo de emisiones especifican las ecuaciones de medición, la información sobre la actividad y los factores de emisión necesarios para calcular las emisiones totales de determinadas actividades.

Las localidades deben elegir las estrategias más pertinentes en función del objetivo de su registro, la accesibilidad de la información y la coherencia con el registro censal nacional de su país u otros sistemas de evaluación e información en los que participen.

Para determinadas tareas, las localidades podrán aplicar mediciones directas de las emisiones de gases de efecto invernadero (p. ej., mediante sistemas de monitoreo continuo de emisiones en centrales eléctricas). Aun así, Para la mayoría de las fuentes de emisión, las localidades deberían calcular las emisiones de gases de efecto invernadero multiplicando la información sobre la actividad por un factor de emisión relacionado con la actividad que se está evaluando. (véase la ecuación 1).

Ecuación 1 Enfoque del factor de emisión para el cálculo de las emisiones de GEI

Emisiones de GEI = Datos de actividad × Factor de emisión. (1)

Los datos de actividad se tratan de una evaluación numérica de la cantidad de actividad que produce emisiones de gases de efecto invernadero en un momento determinado. Un factor de emisión representa la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos en relación con una actividad determinada. Por ejemplo, para calcular las emisiones de CO2 producidas por el consumo de electricidad, se debe multiplicar el kilovatio-hora (kWh) consumido por el factor de emisión (kgCO2/kWh) correspondiente a la electricidad, el cual variará según la tecnología y el tipo de combustible utilizado en su producción.

2.3 Marco legal

2.3.1. Constitución De La República Del Ecuador (2008)

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, substancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico. Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución. El Estado participará en los beneficios del aprovechamiento de estos recursos, en un monto que no será inferior a los de la empresa que los explota. El Estado garantizará que los

mecanismos de producción, consumo y uso de los recursos naturales y la energía preserven y recuperen los ciclos naturales y permitan condiciones de vida con dignidad.

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

2.3.2. Ley Orgánica Del Servicio Público De Energía Eléctrica (2015)

Art. 1.- Objeto y alcance de la ley.- La presente ley tiene por objeto garantizar que el servicio público de energía eléctrica cumpla los principios constitucionales de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad, calidad, sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, para lo cual, corresponde a través del presente instrumento, normar el ejercicio de la responsabilidad del Estado de planificar, ejecutar, regular, controlar y administrar el servicio público de energía eléctrica. La presente ley regula la participación de los sectores público y privado, en actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica, así como también la promoción y ejecución de planes y proyectos con fuentes de energías renovables, y el establecimiento de mecanismos de eficiencia energética.

Art. 2.- Objetivos específicos de la ley. – Son objetivos específicos de la presente ley:

5. Desarrollar mecanismos de promoción por parte del Estado, que incentiven el aprovechamiento técnico y económico de recursos energéticos, con énfasis en las fuentes renovables. La promoción de la biomasa tendrá preminencia en la de origen de residuos sólidos.

6. Formular políticas de eficiencia energética a ser cumplidas por las personas naturales y jurídicas que usen la energía o. provean bienes y servicios relacionados, favoreciendo la protección del ambiente.

Art. 3.- Definiciones. – Para efectos de aplicación de la presente ley, se tendrán en cuenta las definiciones generales siguientes:

8. Energía eléctrica: Flujo de electrones producido con base en fuentes primarias de energía, mediante generadores eléctricos, transportada y distribuida hasta las instalaciones del consumidor o usuario final.

9. Energías renovables: Son las procedentes de fuentes que no disminuyen por efecto de su utilización: hidráulica, eólica, solar, geotérmica, biomasa, mareomotriz, nuclear y otras.

10. Energías renovables no convencionales: Se consideran como energías renovables no convencionales a las fuentes: solar, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz, hidroeléctrica de capacidades menores, en los términos y condiciones establecidas en la normativa, y otras que se llegaren a definir en la regulación respectiva.

Título IV Gestion De Fuentes Energeticas Y Energias Renovables No Convencionales

Art. 26.- Energías renovables no convencionales. – El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía. La electricidad producida con este tipo de

energías contará con condiciones preferentes establecidas mediante regulación expedida por el ARCONEL.

2.3.3. Ley Orgánica De Eficiencia Energética (2019)

Capítulo I Disposiciones Fundamentales

Art. 1.- Objeto y ámbito.- La presente Ley tiene por objeto establecer el marco legal y régimen de funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética – SNEE, y promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, a fin de incrementar la seguridad energética del país; al ser más eficiente, aumentar la productividad energética, fomentar la competitividad de la economía nacional, construir una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética, aportar a la mitigación del cambio climático y garantizar los derechos de las personas a vivir en un ambiente sano y a tomar decisiones informadas. El ámbito de esta Ley se circunscribe a todas las actividades de carácter público o privado, institucional o particular, para las que se efectúe una transformación y/o consumo de energía de cualquier forma y para todo fin.

2.3.4. Ley Orgánica De Competitividad Energética (2024)

Disposiciones Reformatorias

Primera. – En la Ley de Régimen Tributario Interno, realícese las siguientes reformas:

1.En el artículo 10, realícese las siguientes reformas: a. Sustitúyase el segundo inciso del numeral 7, por el siguiente: “La depreciación y amortización que correspondan a la adquisición de maquinarias, equipos y tecnologías destinadas a la implementación de sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento a base de energías renovables no convencionales, a la implementación de mecanismos de producción más limpia, a la implementación de mecanismos de generación de energía de fuente renovable (solar, eólica o similares), a la reducción del impacto ambiental de la actividad productiva, y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, se deducirán con el 100% adicional. Para el efecto, estas adquisiciones no deben ser necesarias para cumplir con lo dispuesto por la autoridad ambiental competente para reducir el impacto de una obra o como requisito o condición para la expedición de la licencia ambiental.

2.3.5. Manual de instalación de sistemas de generación distribuida (2025)

4. Desarrollo.

CONSIDERACIONES DE EQUIPOS

Paneles Solares

4.12 Cumplir, con las siguientes normas (independiente de la potencia de su placa):

- IEC 61215: Design Qualification and Type Approval (módulos fotovoltaicos de silicio cristalino).
- IEC 61730: Requisitos para la construcción, ensayos y seguridad.

4.13 Aplicar las siguientes normas de acuerdo a las zonas geográficas, entornos y sus características particulares de instalación.

- IEC 60068-2-68: Pruebas de resistencia para arena y polvo
- IEC 61701: Resistencia a la niebla salina (ambiente marino)
- IEC 62716: Prueba de resistencia al amoniaco (zonas agrícolas, crianza de animales o ganadera)

4.14 Marcar de manera visible la polaridad en los cables o terminales de módulos fotovoltaicos.

4.15 En caso de instalar en un mismo sistema paneles fotovoltaicos de diferentes marcas, características y orientación de montaje, cumplir que los módulos fotovoltaicos que estén orientados en una dirección ingresen a un MPPT y los módulos fotovoltaicos orientados en dirección distinta ingresen a otro MPPT del mismo inversor.
4.16 Los paneles solares deben tener como mínimo, los siguientes datos STC en la placa:
a) Voltaje de circuito abierto.
b) Voltaje de operación.
c) Corriente de operación.
d) Corriente de cortocircuito.
e) Potencia máxima.

2.3.6. Acuerdo de Paris (2015)

Artículo 2
1. El presente Acuerdo, al mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello:
a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 ºC con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 ºC con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;
b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; y c) Situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

2.3.7. Norma Internacional ISO 14067 (2018)

La norma ISO 14067 es una norma internacional que establece los principios, requisitos y directrices para cuantificar y reportar la huella de carbono de los productos a lo largo de su ciclo de vida. Su objetivo es proporcionar un método estandarizado y transparente que permita a las organizaciones evaluar el impacto de sus bienes o servicios en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, facilitando la comparabilidad, la gestión ambiental y la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad.

2.3.8. Norma Internacional ISO 50001 (2018)

Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001:2018. (Flores et al, 2020)
El capítulo uno está dedicado a presentar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y cómo un SGEn puede ser un elemento fundamental para el cumplimiento de cinco de ellos, a través de los compromisos energéticos y medioambientales de las organizaciones tanto públicas como privadas.
En el capítulo dos, se detalla lo que es un sistema de gestión de la energía y se presentan las generalidades y cambios relevantes del estándar ISO 50001 en su versión 2018, en comparación con la edición 2011. El capítulo tres muestra el ciclo de mejora continua y los pasos sugeridos para diseñar e implementar un SGEn. El capítulo cuatro detalla los requisitos de un sistema de gestión de la energía tipo ISO 50001 en su versión 2018. La numeración corresponde a lo

señalado por el estándar con la finalidad de facilitar la interpretación de cada cláusula. Al final de la explicación de cada requisito, se encuentra una imagen con el resumen de las acciones a realizar por cada elemento. Por último, en el capítulo cinco se presentan referencias con ejemplos de implementación de los SGEn en México y el mundo, que se tienen documentados, y preguntas frecuentes sobre este tipo de sistemas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Enfoque de la investigación

El estudio apuntó a un planteamiento **cuantitativo**, debido que se buscó analizar el potencial de aprovechamiento de energía solar y la reducción de la huella de carbono utilizando datos numéricos provenientes de fuentes secundarias y encuestas estructuradas. La investigación se apoyará en técnicas estadísticas descriptivas para organizar y analizar la información.

3.1.1. Tipo y alcance de la investigación

3.1.1.1. Tipo de investigación

- Aplicada: Busca ofrecer soluciones prácticas para la transición energética comunitaria.
- Documental: Basada en la revisión de información técnica, estudios previos y bases de datos climáticas.
- De campo: Incluye la aplicación de encuestas a moradores de la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, para obtener datos sobre consumo energético residencial.

3.1.1.2. Alcance de la investigación

El alcance es descriptivo, ya que se centró en caracterizar el contexto energético residencial, estimar el potencial solar y proyectar la reducción de la huella de carbono sin manipular variables ni establecer relaciones causales.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño es **no experimental y se realizó de forma transversal.** Sin manipulación de las variables; la información se recolectará tal como existe en el entorno y se analizó en un único período (2025–2026), sin seguimiento en el tiempo.

3.2. Metodología

3.2.1. Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- **Potencial de aprovechamiento de energía solar:** medido en función de la irradiancia solar (kWh/m²/día) y características técnicas del lugar.
- **Características de la Comunidad:** medida como características de la infraestructura (superficie disponible, orientación de techos), usuarios y patrones de consumo.

3.2.1.2. Variable dependiente

Reducción de huella de carbono: toneladas de CO_2 equivalente evitadas, calculadas a partir de la sustitución de electricidad convencional por generación solar.

3.2.2. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1.

Operación de variables.

Variable	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Potencial de aprovechamiento de energía solar	Cuantitativa	Razón	kWh/años generables según irradiancia y área disponible.
Características de la Comunidad	Cuantitativa	Razón	m² la superficie disponible y la orientación del techo.
Reducción de huella de carbono	Cuantitativa	Razón	Toneladas de CO_2 evitadas mediante uso de energía solar.
Consumo energético residencial	Cuantitativa	Intervalo	kWh promedio consumidos por vivienda y comunidad.

Nota: Matriz de variables.

Elaborado por: El Autor, 2025.

3.2.3. Recolección de datos

3.2.3.1. Recursos

- **Fuentes secundarias:** Bases de datos climáticas (OLACDE: organización Latinoamérica de energía, OsieLAC: sistema de información energética de Latinoamérica y Caribe), registros de consumo energético (CNEL, ARCONEL), estudios técnicos del MAE y del Ministerio de Energía y Minas.
- **Herramientas tecnológicas:** Portales digitales Global Solar Atlas y Solar GIS para estimación solar, hojas de cálculo Excel para análisis de datos y cálculo de huella de carbono.
- **Instrumentos de campo:** Cuestionarios estructurados para encuestas a moradores.

3.2.3.2. Métodos y técnicas

- **Encuestas estructuradas** para caracterizar el consumo energético y la percepción comunitaria.

- **Análisis documental** de datos de irradiación solar y factores de emisión.
- **Estimación técnica** del potencial solar y de la huella de carbono utilizando factores del IPCC.

3.2.4. Población y muestra

3.2.4.1. Población

Moradores de la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, ubicada en el km 19,5 de la vía a Daule, Guayaquil.

3.2.4.2. Muestra

Se seleccionó un subconjunto de viviendas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido al acceso y disponibilidad de los moradores. Se buscó cubrir al menos un 24.68% de la etapa para garantizar representatividad.

3.2.5. Análisis estadístico

Se utilizó un análisis **estadístico descriptivo** para organizar y presentar los datos mediante tablas, gráficos y promedios.

En la etapa La Ría existen 312 viviendas, de las cuales se seleccionó una muestra equivalente al 24.68%, es decir, 77 casas tras el redondeo correspondiente. Una vez obtenidos los datos, se procedió a analizarlos mediante la desviación estándar, la media, el promedio.

Ecuación 2.

Fórmula para calcular la media aritmética muestral

$$m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi \qquad (2)$$

Fuente: Ortega, 2025.

Donde:

M= media aritmética.

N= número de muestras analizadas.

Xi= valor individual de cada muestra.

Ecuación 3.

Fórmula para calcular la desviación estándar muestral

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})2}{n - 1}} \qquad (3)$$

Fuente: Ortega, 2025.

Donde:

- **s**: desviación estándar de la muestra.
- $\mathbf{x_i}$: valor individual de la muestra.
- $\bar{\mathbf{x}}$: media de la muestra.
- **n**: número total de observaciones en la muestra.

3.2.5.1. Preguntas para la encuesta

Ver anexo 2.

4. Resultados.

4.1. Diagnóstico energético y socioambiental de la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría

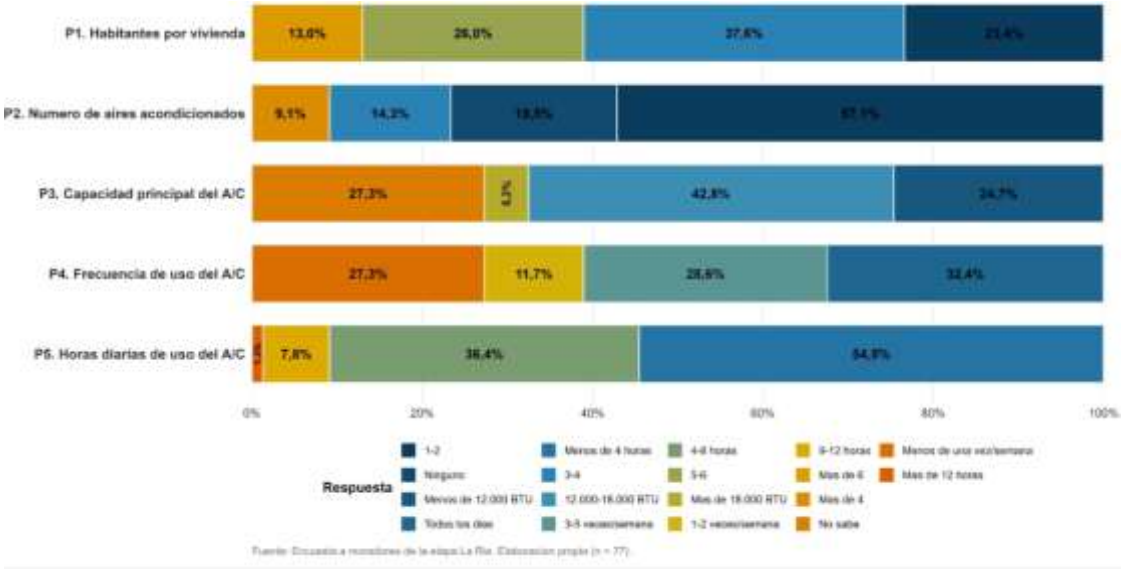
Las especificaciones técnicas de la vivienda en la Urbanización Ciudad Santiago describen una construcción basada principalmente en hormigón armado, tanto en la cimentación como en los muros portantes y la losa estructural, lo que proporciona resistencia y estabilidad para una edificación de dos pisos, las dimensiones de las viviendas son 12 metros de largo, 7 metros de ancho y 7 metros de altura total contando desde el nivel del suelo a la cumbre del techo. Los acabados estructurales incluyen contrapisos de hormigón simple y sobre pisos revestidos con cerámica, mientras que las áreas húmedas cuentan con enchapes cerámicos que mejoran la impermeabilidad y facilitan el mantenimiento.

La cubierta está conformada por perfiles metálicos y planchas de panel metálico, un sistema liviano y duradero apropiado para ambientes cálidos. Los acabados incluyen pintura látex en interiores y pintura elastomérica en fachadas, mientras que las ventanas son de aluminio y vidrio con malla protectora. Las instalaciones sanitarias y eléctricas están empotradas, utilizando tubería de PVC para agua y desagüe, y puertas metálicas o de madera esmaltada según su ubicación.

Además, los elementos complementarios como cerramientos de hormigón armado, pavimentos en áreas comunes y sanitarios de loseta vitrificada garantizan funcionalidad y durabilidad. Se especifica además que, en caso de falta de materiales, estos pueden ser sustituidos por otros de calidad equivalente, asegurando que el estándar constructivo de la vivienda se mantenga.

Figura 3.

Características del hogar y uso del aire acondicionado.



Elaborado por: El autor, 2026

La densidad poblacional por vivienda (P1), el 37.6 % de los hogares está conformado por 3 a 4 habitantes, seguido por un 26.0 % con 5 a 6 personas, lo que evidencia una predominancia de núcleos familiares de tamaño medio a grande. Por otro lado, los hogares de 1 a 2 personas representan el 23.4 %, mientras que aquellos con más de 6 integrantes constituyen el 13.0 %. Este perfil demográfico resulta clave, dado que el número de ocupantes incide directamente en las ganancias de calor sensible interno y en el consumo eléctrico base del hogar.

En cuanto al equipamiento de climatización (P2), la mayoría de los predios, correspondiente al 57.1 %, dispone de entre 1 y 2 equipos de aire acondicionado, mientras que un 14.3 % posee entre 3 y 4 unidades y un 9.1 % reporta más de 4 equipos. El 19.5 % restante corresponde a viviendas que no cuentan con este tipo de equipos. Esta alta tasa de penetración tecnológica (80.5% de cobertura total) sitúa a la refrigeración de espacios como la principal carga térmica y eléctrica en la infraestructura residencial del sector.

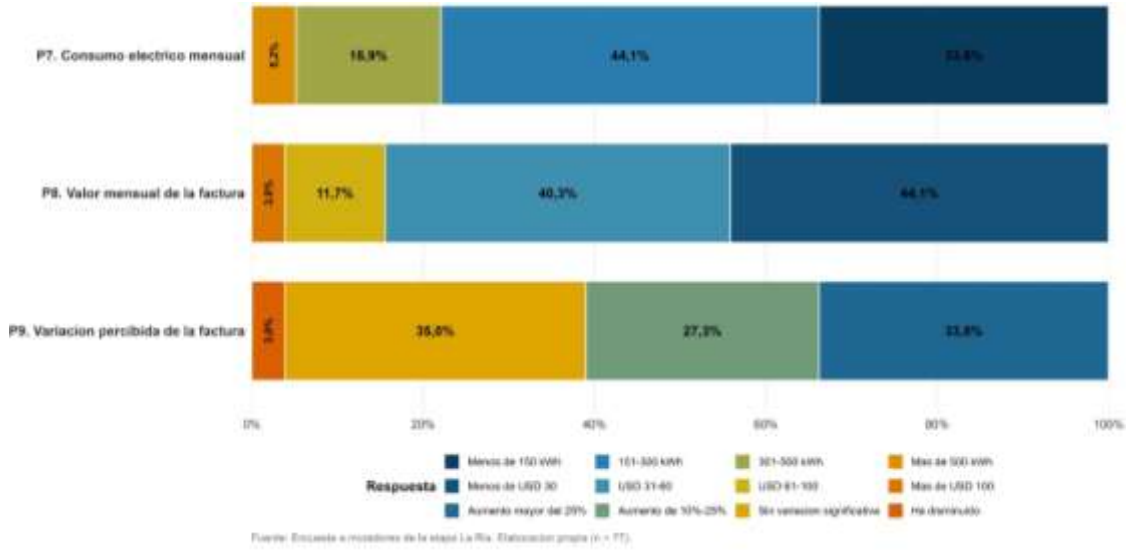
La capacidad térmica principal de los equipos (P3), el 42.8 % de las viviendas utiliza unidades de entre 12,000 y 18,000 BTU, lo cual es congruente con el volumen arquitectónico habitual de las áreas sociales y dormitorios principales. Asimismo, un 24.7 % emplea equipos de menor capacidad, mientras que un 5.2% requiere capacidades superiores a 18,000 BTU. Cabe señalar que un

27.3% de los encuestados desconoce la capacidad de su equipo, lo cual evidencia una brecha en la cultura de gestión energética.

En lo referente al patrón y frecuencia de uso (P4 y P5), el 32.4 % opera los sistemas de climatización de forma diaria ("Todos los días"), y un 28.6 % lo hace con una frecuencia de 3 a 5 veces por semana, patrón impulsado por las exigencias de confort térmico ante el clima cálido-húmedo de Guayaquil. El 11.7 % los utiliza entre 1 y 2 veces por semana, y el 27.3 % con una frecuencia inferior a una vez por semana. En cuanto al régimen de operación diaria, el 54.5 % registra un uso de menos de 4 horas/día, el 36.4 % opera entre 4 y 8 horas/día, un 7.8 % entre 9 y 12 horas/día y el 1.3 % supera las 12 horas diarias de funcionamiento. La concentración del uso dentro del rango moderado de horas sugiere un hábito de consumo enfocado en las horas nocturnas o de mayor carga térmica solar, aspecto fundamental para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en régimen de autoconsumo.

Figura 4.

Consumo eléctrico y comportamiento de la factura.



Elaborado por: El autor, 2026

El consumo eléctrico mensual registrado en planilla (P7), la mayor concentración de viviendas se ubica en el rango de 151 a 300 kWh, representando el 44.1 % de la muestra, seguido por un 33.8 % que registra un consumo inferior a 150 kWh. Estos datos revelan que el 77.9 % de las familias mantiene un nivel de consumo energético bajo a moderado. Por otra parte, el 16.9 % de los hogares demanda entre $301 y 500 kWh, mientras que únicamente

un 5.2 % supera los 500 kWh. Esta distribución identifica un segmento minoritario con intensidades de consumo elevadas, marcando la pauta para establecer prioridades de intervención y dimensionar los bloques de generación fotovoltaica según los rangos de autoconsumo directo.

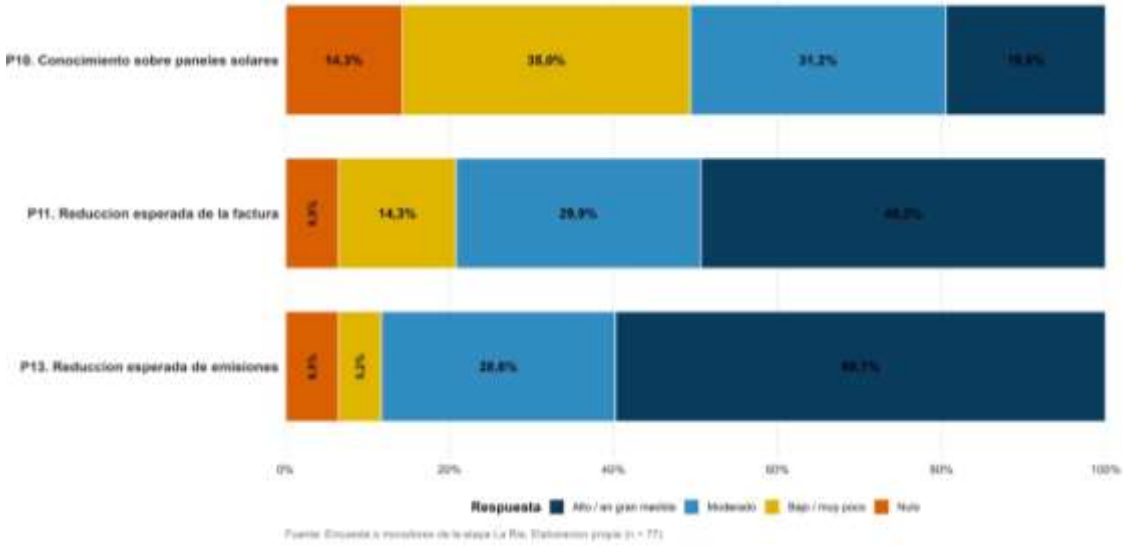
En relación con el costo mensual del servicio eléctrico (P8), la distribución refleja una coherencia directa con los niveles de demanda física observados en las planillas de la CNEL EP. El 84.4 % de los usuarios reporta un gasto en facturación de hasta $60, dividido entre un 44.1 % que paga menos de $30 y un 40.3 % cuyo rubro oscila entre $31 y $60. En contraste, los rangos de mayor facturación presentan frecuencias bajas: un 11.7 % abona entre $61 y $100, y solo un 3.9 % sobrepasa los $100 mensuales. Esta estructura tarifaria evidencia una base poblacional con subsidio o bloques de consumo intermedios, un aspecto crítico para evaluar la viabilidad financiera y el periodo de retorno de inversión de los sistemas solares comunitarios o individuales.

La variación percibida en el costo de la planilla (P9), un significativo 61.1% de los encuestados percibe un encarecimiento en su facturación eléctrica en el periodo reciente. De este grupo, un 33.8 % señala un "Aumento mayor del 25%" y un 27.3% percibe un "Aumento de 10% - 25%". Por su parte, el 35% de los consultados indica que su factura se ha mantenido "Sin variación significativa", mientras que apenas un 3.9% reporta una disminución en el valor cancelado. La marcada tendencia a la alza en los costos del servicio eléctrico actúa como un catalizador o factor impulsor socioambiental, incrementando la receptividad de la comunidad hacia la adopción de la energía solar como una alternativa para la mitigación del gasto familiar y la autosuficiencia energética.

En la figura 5, el nivel de conocimiento sobre la tecnología fotovoltaica (P10), el 50.7% de los encuestados manifiesta contar con algún grado de conocimiento directo sobre el tema, desglosado en un 19.5% que indica un conocimiento alto ("Mucho") y un 31.2% que refiere un conocimiento moderado ("Poco"). Adicionalmente, el 35% declara tener una noción básica ("Bajo / muy poco"), mientras que únicamente el 14.3% admite un desconocimiento absoluto ("Nulo"). La suma del conocimiento previo y la familiaridad con el concepto (85.7% en conjunto) demuestra una elevada aceptabilidad social en la comunidad, condición que favorece la factibilidad de implementación de proyectos de autogestión o generación distribuida.

Figura 5.

Percepción de los beneficios de la energía solar



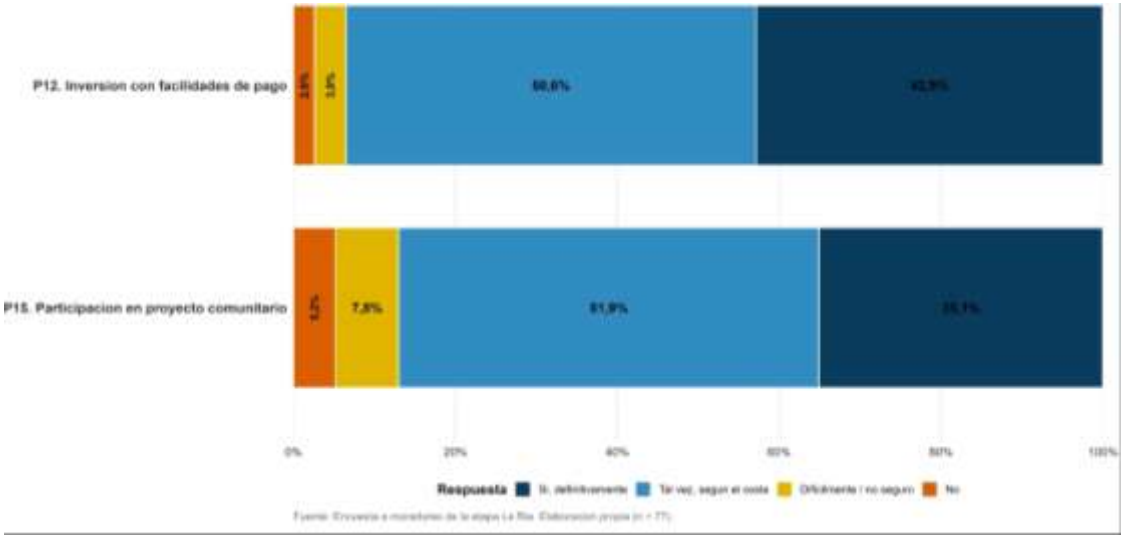
Elaborado por: El autor, 2026

La expectativa de reducción en el costo de la planilla eléctrica (P11), se observa un marcado optimismo en la percepción económico y energética de la muestra. El 93.5% de los participantes anticipa un ahorro económico positivo tras la adopción de paneles solares: el 49.3% proyecta un nivel de ahorro alto (superior al 50%), el 29.9 % prevé una reducción moderada (entre 25% y 50%), y un 14.3% espera un impacto menor (inferior al 25%). Tan solo un 6.5% manifiesta una expectativa nula de ahorro. Esta sólida confianza en la rentabilidad de la tecnología fotovoltaica refleja que el incentivo económico es un motor principal para la transición hacia energías renovables en el sector residencial.

lo referente al impacto percibido en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (P13), la comunidad evidencia una clara conciencia de la función ambiental de la energía solar. El 59.7 % de los encuestados considera que la tecnología contribuye "En gran medida" a la mitigación de la huella de carbono, mientras que un 28.6 % percibe un aporte "Moderado". En contraste, un 5.2 % considera que el impacto ambiental es "Bajo" y el 6.5 % lo percibe como "Nulo". El 88.3 % de valoración ambiental positiva confirma la existencia de un compromiso socioambiental favorable en la urbanización, alineado con las metas de descarbonización y transición energética a escala local.

Figura 6.

Disposición para adoptar energía solar



Elaborado por: El autor, 2026

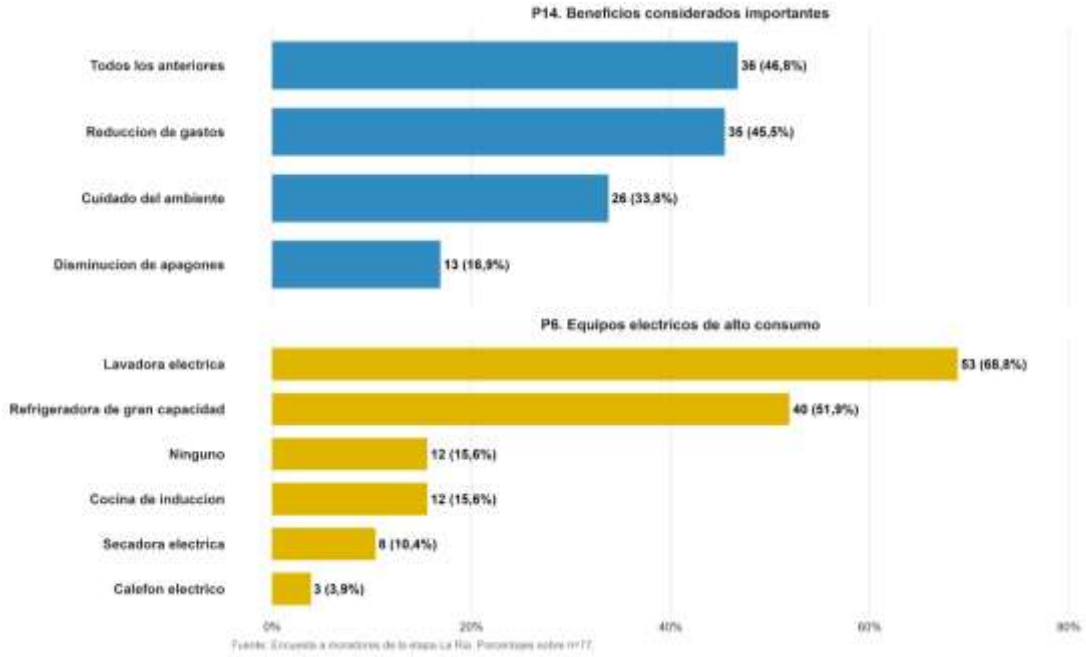
La disposición a invertir bajo esquemas de facilidades de pago (P12), los resultados confirman que los incentivos financieros constituyen un eje estructurante para la adopción tecnológica en el sector residencial. Un 42.9 % de los encuestados afirma con certeza que "Sí, definitivamente" invertiría en sistemas solares si contara con mecanismos de financiamiento accesible, mientras que un 50.6 % manifiesta una postura receptiva condicional ("Tal vez, según el costo"). En conjunto, el 93.5 % de la muestra refleja una disposición favorable hacia la transición energética apoyada en facilidades crediticias. En contraste, solo un 3.9 % se muestra ambiguo ("Difícilmente / no seguro") y un 2.6 % manifiesta una negativa rotunda ("No"). Estos hallazgos demuestran que la principal barrera de entrada no es la resistencia cultural o tecnológica, sino el costo de capital inicial, lo que sustenta la necesidad de diseñar líneas de crédito verdes o esquemas de financiamiento a largo plazo.

En cuanto a la disposición a participar en un proyecto comunitario de generación fotovoltaica (P15), la comunidad evidencia un sólido potencial de organización socioambiental para modelos energéticos compartidos. Un 35.1 % de los participantes asegura su integración incondicional ("Sí, definitivamente"), mientras que la mayoría, equivalente al 51.9 %, manifiesta que participaría condicionado a la evaluación del costo ("Tal vez, según el costo"). La suma de

ambos sectores alcanza un 87.0 % de apertura hacia esquemas de autogestión comunitaria. Por otro lado, un 7.8 % expresa dudas respecto a su incorporación ("Difícilmente / no seguro") y un 5.2 % rechaza la propuesta ("No"). Esta reducida resistencia (13.0 % en total) reafirma la viabilidad social para implementar microredes o comunidades energéticas en la urbanización, siempre que se establezcan modelos claros de gobernanza, transparencia en el reparto de costos y esquemas de retornos de inversión viables.

Figura 7.

Equipos eléctricos y beneficios al uso de la energía solar



Elaborado por: El autor, 2026

los beneficios considerados más importantes para el uso de energía solar (P14), el análisis revela una comunidad que combina una alta conciencia ambiental con un claro pragmatismo económico. La mayor proporción de encuestados, equivalente al 46.8%, seleccionó la opción ″Todos los anteriores″, reflejando una percepción integral que articula la optimización del gasto familiar, la mitigación del impacto ambiental y la continuidad del servicio frente a interrupciones eléctricas. Entre las motivaciones específicas, la reducción de gastos destaca como la principal prioridad económica para el 45.5% de los predios, seguida por el cuidado del ambiente con un 33.8 % y la disminución de apagones con el 16.9 %.

Al inventario de equipos eléctricos de alto consumo adicionales a la climatización (P6), los datos permiten identificar la estructura de las cargas base y críticas dentro del perfil de demanda residencial. La lavadora eléctrica constituye la carga más extendida, presente en el 68.8 % de los hogares, seguida por la refrigeradora de gran capacidad en el 51.9 % de los predios. Ambas

representan cargas de consumo recurrente vinculadas al funcionamiento doméstico esencial. En menor proporción se ubican las cocinas de inducción y la categoría *"Ninguno"*, ambas con un 15.6 %, seguidas por la secadora de ropa eléctrica con el 10.4 % y el calefón eléctrico con el 3.9 %

4.2. Potencial de generación de energía solar en la zona de estudio

La evaluación de la capacidad de energía solar se evaluó empleando los portales digitales Global Solar Atlas y Solar GIS. Los resultados sugieren que el área analizada tiene un alto potencial solar, con una irradiancia horizontal global (GHI) de 1564,3 kWh/m² por año, respaldada por una radiación difusa de 929,0 kWh/m² por año y una irradiancia normal directa (DNI) de 847,8 kWh/m² por año. Siguiendo los criterios de optimización para sistemas fotovoltaicos fijos, se determinó un ángulo de inclinación óptimo (OPTA) de 4° con una orientación norte (0°), maximizando la irradiancia de inclinación global (GTI) a 1566,4 kWh/m² por año. Además, el área de estudio se encuentra a una altitud de 13 metros sobre el nivel del mar y tiene una temperatura del aire de 24,3 °C, condiciones que favorecen el rendimiento de la energía solar fotovoltaica.

Basandose en los promedios anuales adquiridos, se considera que el almacenamiento del sistema solar fotovoltaico planteado producirá un total de 1205 MWh de electricidad por año, lo cual se relaciona directamente con una radiación solar global promedio inclinada de 1564,9 kWh/m² por año por unidad. Estas cifras comprueban la accesibilidad de recursos solares en la urbanización y validan la viabilidad técnica del uso de energía solar por medio de paneles fotovoltaicos.

4.2.1. Promedios mensuales.

El resultado de la generación mensual promedio de energía solar y la radiación solar revela un comportamiento estacional adecuado y positivo para el uso de la energía solar en el lugar investigado. La producción específica (PVOUT específica) se mantiene relativamente estable a lo largo del año, con notables

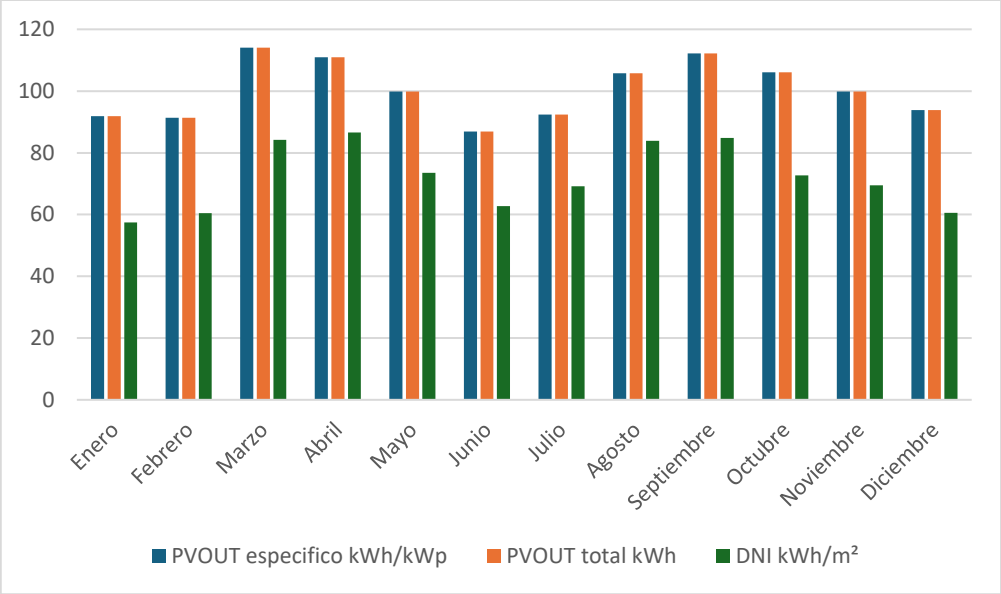
incrementos entre marzo, abril, agosto, septiembre y octubre, meses en los que se alcanzan los valores más altos, superando los 110 kWh/kWp. Esto coincide con mayores niveles de irradiación normal directa (DNI). Por el contrario, los meses con menor producción, como enero, junio y diciembre, muestran descensos moderados sin descensos bruscos, lo que indica un recurso solar relativamente estable. Anualmente, la producción total alcanza aproximadamente los 1205 MWh, mientras que la DNI anual es de aproximadamente 865,4 kWh/m².

Los altos niveles de generación de energía solar durante marzo, abril, agosto, septiembre y octubre son principalmente atribuibles a la combinación óptima de la ubicación del sol, la cantidad de luz solar recibida y las condiciones climáticas locales. En los meses de marzo y septiembre, que están próximos a los equinoccios, el ángulo de llegada de la luz solar es casi perpendicular a la Tierra en regiones ecuatoriales y tropicales, lo que aumenta la cantidad efectiva de luz que reciben los paneles. Aunque en abril, agosto y octubre la posición del sol cambia ligeramente, frecuentemente se observan menos nubes y menor cantidad de lluvias, lo que favorece un incremento de la irradiación normal directa y, por ende, un aumento en la producción eléctrica del sistema solar.

Por el contrario, los meses que presentan valores más bajos, como enero, junio y diciembre, se asocian con períodos que se caracterizan por un aumento de la nubosidad, un incremento en las precipitaciones y un mayor contenido de vapor de agua en la atmósfera. Estos factores disipan y reducen la cantidad de radiación solar que llega. Durante estos meses, la radiación solar se distribuye de manera más difusa, lo que disminuye la energía aprovechable que los paneles solares pueden captar. Además, las fluctuaciones estacionales en la temperatura y en la duración efectiva de la luz solar tienen un impacto en la eficiencia del sistema. Sin embargo, la fluctuación mensual es leve, lo cual sugiere que la disponibilidad de sol se mantiene bastante constante a lo largo del año, fortaleciendo así la factibilidad técnica del sistema de paneles solares y su contribución continua a la producción de energía limpia en la zona analizada.

Figura 8.

Promedios mensuales



Fuente: Global Solar Atlas. Elaborado por: El Autor, 2026

4.2.2. Horizonte y trayectoria solar

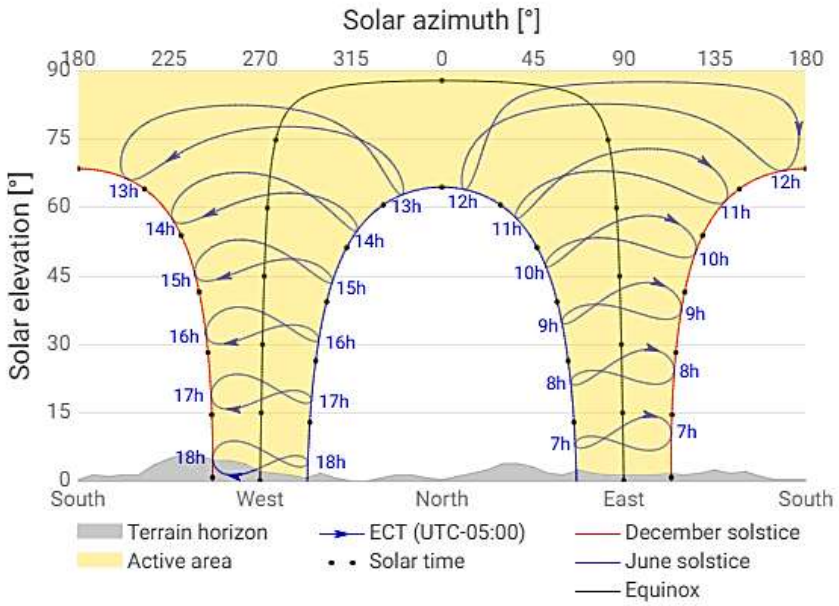
El gráfico 17 muestra el horizonte y el recorrido del sol ilustra las fluctuaciones de la altura del sol a lo largo del año y el día, en relación con el ángulo de azimut, lo que permite estudiar la geometría solar típica del área analizada. Las rutas que corresponden a los solsticios de junio y diciembre, así como a los equinoccios, se distinguen claramente, revelando diferencias notables en la altitud del sol durante el año. El cambio estacional de diciembre, el sol alcanza su punto más alto al mediodía, excediendo los 60 grados, significando una mayor cantidad de radiación que llega a las superficies de los colectores. Por el contrario, en la máxima declinación de junio, el recorrido del sol es más baja, lo que reduce el ángulo de incidencia y, por lo tanto, la radiación activa accesible para su conversión en energía solar.

De igual manera, se identifica las horas óptimas para aprovechar la energía solar, situadas aproximadamente de 9:00 AM a 15:00 PM. En el transcurso de este periodo, el sol alcanza su punto más alto y las pérdidas debidas a la sombra y la inclinación son mínimas. La visualización del terreno y la zona de captación muestra que no existen inconvenientes significativos durante las horas críticas de producción, lo que garantiza una excelente disponibilidad de luz solar durante todo el año. Estos resultados respaldan la decisión de orientar el sistema

fotovoltaico hacia el norte y utilizar un ángulo de inclinación reducido., ya que permiten una recolección más efectiva y homogénea de la radiación solar en todas las estaciones del año.

Figura 9.

Horizonte y trayecto solar



Elaborado por: El Autor, 2026

4.2.3. Perfiles horarios promedios

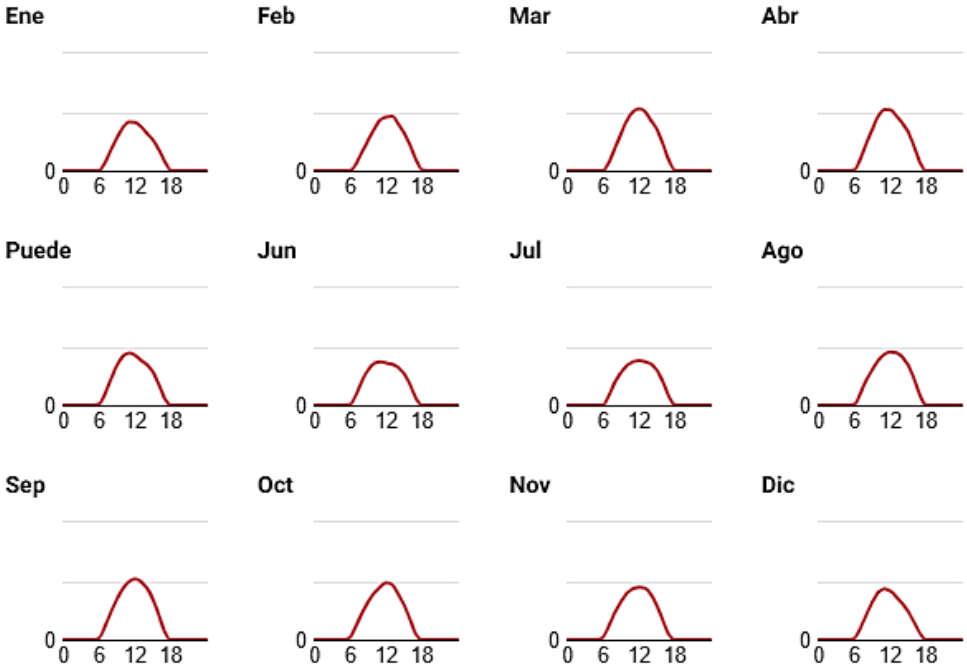
La distribución promedio de la luz solar a lo largo del año se presenta en gráficos diarios que muestran patrones típicos de radiación desde el amanecer hasta el atardecer. Cada mes presenta una secuencia similar en el lapso de tiempo, sin mediciones durante la noche, seguido de un aumento gradual a partir de las 6:00 a. m., alcanzando un pico cerca del mediodía solar, entre las 11:00 AM y la 1:00 PM, para luego disminuir al final de la tarde. Este patrón es consecuencia de la dinámica astronómica de la trayectoria aparente del sol y constituye una característica primordial la disponibilidad diaria de recursos solares.

A lo largo del año se observan variaciones temporales en la intensidad y magnitud de los picos de radiación. En marzo, abril, agosto, septiembre y octubre, los gráficos muestran mayores alturas y longitudes, lo que indica un aumento en la intensidad y duración de la luz solar diaria, relacionado principalmente con mejores condiciones atmosféricas, como una menor nubosidad y una firmeza meteorológica. Por el contrario, durante junio y julio, los

gráficos muestran picos ligeramente más bajos, lo que indica una disminución relativa de la radiación disponible, posiblemente relacionada con una mayor nubosidad o cambios en la posición del sol.

Figura 10.

Potencia fotovoltaica total generada (Wh)



Elaborado por: El Autor, 2025

En cuanto al consumo energético, el gráfico 18 identifica claramente las horas punta de producción de energía solar, que se producen consistentemente alrededor del mediodía en todos los meses analizados. Además, la variación mensual observada es un elemento crucial para el diseño y dimensionamiento de las instalaciones solares, ya que revela periodos del año con mayor rendimiento esperado y otros con una producción ligeramente inferior.

El gráfico 19 muestra los promedios horarios de la energía total generada por sistemas fotovoltaicos, medidos en Wh, clasificados por meses del año y horarios del día. Esta forma de presentación permite un análisis exhaustivo de la fluctuación temporal en la producción de electricidad a partir de la energía solar. Se puede notar que la generación es casi inexistente durante la noche y en el inicio de la mañana, aumentando gradualmente a partir de las 07h00, lo que se

relaciona directamente con la disponibilidad de luz solar y la inclinación a la que incide sobre los paneles solares.

Figura 11.

Intervalos de horarios diarios

	Ene	Feb	Mar	Abr	Puede	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6												
6 - 7	5	3	5	10	11	9	6	8	17	27	28	14
7 - 8	78	67	81	104	105	101	95	105	123	130	129	104
8 - 9	185	170	203	236	231	218	205	218	245	235	238	217
9 - 10	285	264	321	355	343	305	282	304	350	326	328	324
10 - 11	370	360	434	468	420	359	341	382	440	401	400	405
11 - 12	416	435	502	519	445	370	372	433	496	450	437	432
12 - 13	412	457	529	516	426	360	381	454	518	486	447	414
13 - 14	375	466	504	471	382	348	371	448	495	468	438	367
14 - 15	317	401	428	407	345	325	352	412	439	391	386	308
15 - 16	261	320	350	331	282	269	298	341	344	295	288	240
16 - 17	178	218	228	207	177	174	198	223	208	171	165	150
17 - 18	78	95	91	71	57	61	77	84	66	46	45	53
18 - 19	5	8	4				2	2				
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Suma	2.964	3.265	3.680	3.696	3.224	2.898	2.980	3.414	3.741	3.424	3.329	3.027

Elaborado por: El Autor, 2026

El análisis horario muestra que los niveles máximos de generación se distribuyen de manera constante entre las 10:00 y las 14:00, alcanzando picos más altos en el periodo de 11:00 a 13:00, donde se observan las mayores intensidades de energía. Esta tendencia se observa en todos los meses del año, aunque hay diferencias en la magnitud de los valores, influidas por factores estacionales como la cobertura de nubes, la irradiación solar total y las condiciones del clima local. Las áreas más intensas del mapa de calor indican estas horas fundamentales de alta producción, que son cruciales para la eficacia operacional de los sistemas solares fotovoltaicos.

Un panorama mensual, los totales diarios indican los meses de marzo, abril y septiembre muestran una elevada producción solar promedio, mientras que junio y enero marcan un promedio solar menor, aunque sin caídas pronunciadas. Esta variación reducida propone una seguridad significativa en la utilización del sol a

lo largo del año, lo que beneficia la evaluación y la organización de los sistemas de producción de energía solar.

4.2.4. Area total del techo

Dado que el techo tiene una única pendiente rectangular, se utilizó el teorema de Pitágoras para calcular la longitud de la pendiente y, por lo tanto, la superficie total. Este procedimiento es necesario para determinar la capacidad máxima del espacio y calcular la cantidad de paneles solares que se pueden instalar eficazmente.

Según National Geographic (2022), la adición de los cuadrados de los lados cortos es equivalente al cuadrado del lado largo, es decir, $a^2=b^2+c^2$. Esta es la afirmación establecida por el teorema que fue confirmado por Pitágoras (569 aC-475 aC), un filósofo y matemático de Grecia.

Inicialmente, la longitud de la cubierta inclinada se determinó considerándola como la hipotenusa de un triángulo rectángulo definido por la geometría del edificio. Para ello, la distancia horizontal es de 7 metros y vertical de 1.5, se tomaron como catetos, utilizando las relaciones trigonométricas apropiadas, según la siguiente expresión matemática:

Longitud de la pendiente= $\sqrt{\text{distancia vertical}2 \ * \text{distancia horizontal}2}$

l= $\sqrt{1.5^2 + 7^2}$= $\sqrt{51.25}$= 7.16 m

Figura 12.

Techo de la casa



Elaborado por: El Autor, 2026

Cuando se determinó la longitud de la pendiente del techo, se calculó el área total del techo, teniendo en cuenta la geometría del plano inclinado. Para ello, del producto se obtuvo el área entre el largo de la casa y la longitud de la pendiente del techo según la relación:

$$A=L * l$$

$$A= 12\times7.16 =85.92 \ m^2$$

El cálculo de la superficie total de la cubierta nos permitió cuantificar la superficie real disponible para la instalación del sistema fotovoltaico. Para una vivienda con 7 m de ancho horizontal, 12 m de largo y 1.5 m de alto de la cumbre del techo hasta la parte baja de la misma, se obtuvo una pendiente de 7.16 m, lo que resultó en una superficie total de la cubierta de 85.92 m². Este valor permitió estimar con precisión la capacidad de la cubierta a cubrir con elementos fotovoltaicos, así como la potencia máxima instalada y la producción energética anual prevista. El uso de esta superficie real, en lugar de la proyección horizontal, evitó errores de subestimación del potencial solar disponible y garantizó un diseño técnico adaptado a las condiciones geométricas reales del edificio.

4.2.5. Inclinación del techo

Los paneles solares deben estar inclinados adecuadamente para recibir la máxima radiación solar y producir la máxima cantidad de energía. Una inclinación inadecuada puede reducir significativamente la eficiencia del sistema. Por ello, es fundamental que los paneles solares sean instalados por profesionales que tengan la experiencia y los conocimientos necesarios para determinar el ángulo correcto (ERCAM, 2023)**.**

Para encontrar el ángulo usamos la función tangente trigonométrica:

$$\theta = \tan^{-1}(\frac{altura}{ancho})$$

$$\theta = \tan^{-1}(\frac{1.5\ m}{7\ m})$$

$$\theta = 12.09$$

Y para el porcentaje de la pendiente es la siguiente:

$$\text{Pendiente (\%)} = \left(\frac{altura}{ancho}\right) * 100$$

$$\text{Pendiente (\%)} = \left(\frac{1.5}{7}\right) * 100$$

$$\text{Pendiente (\%)} = 21.4\%$$

La inclinación de 12,1° del techo de Guayaquil se considera un excelente diseño para la captación de energía solar, ya que se encuentra dentro del rango ideal para latitudes cercanas al ecuador. Dado que la ciudad se encuentra aproximadamente a 2,2° N, esta inclinación permite que la luz solar incida sobre

el tejado casi verticalmente durante las horas punta, optimizando así la eficiencia anual específica del sistema. Además, este ángulo supera el mínimo de 10° recomendado por las normas internacionales para promover la autolimpieza de los paneles por el agua de lluvia. Esto ayuda a prevenir la acumulación de suciedad y reduce los costes de mantenimiento en zonas urbanas. Por lo tanto, la forma del edificio reduce el efecto coseno sin comprometer la resistencia al viento, logrando un equilibrio entre la eficiencia energética y la estabilidad estructural.

4.2.6. Sistema fotovoltaico

Antes de determinar el tamaño del sistema fotovoltaico necesario para la vivienda, se estableció un consumo energético anual de referencia con base en la información recopilada para el primer objetivo de la investigación. Esto se realizó utilizando un consumo mensual promedio de 300 kWh, que se convirtió a consumo anual y posteriormente a consumo diario mediante factores de conversión adecuados.

Consumo anual: 300 KWh * 12 meses = 3600 KWh/año.

Consumo diario: 300 KWh / 30 días = 10 KWh/ día o 10000 Wh/ día.

A continuación, se calcula la energía fotovoltaica necesaria para cubrir las necesidades energéticas de la vivienda mediante la siguiente expresión matemática.

$$:Potencia\ pico\ necesaria\ (Wp) = \frac{consumo\ diario}{HSP * rendimiento}$$

Donde:

- Consumo eléctrico diario del usuario (kWh/año)
- Horas solares pico del sitio (HSP)
- Pérdidas del sistema (rendimiento del 70-80%) (Ruiz, 2026).

$$Potencia\ pico\ necesaria\ (Wp) = \frac{10\ 000\ \frac{Wh}{día}}{4.5\ * 0.80}$$

$$Potencia\ pico\ necesaria\ (Wp) = 2777.77\ Wp \text{ o } 2.77 \text{ KWp}$$

A continuación, se determinó el número de paneles solares necesarios para el sistema fotovoltaico, aplicando la siguiente expresión de cálculo como lo indica Eficiencia ecologica (2025).

$$Numero\ de\ módulos\ = \frac{energia\ necesaria}{HSP * rendimiento * potencia\ pico\ del\ modulo}$$

La potencia pico del módulo, es la capacidad eléctrica que establece el productor (400W, 450W,500W, 580W,610W, etc.).

Para el sistema propuesto, los cálculos indican que se requiere una potencia fotovoltaica de 2,77 kWp. Considerando esto y evaluando la disponibilidad comercial y la viabilidad económica, se seleccionó una instalación fotovoltaica de 3 kW, con base en la demanda prevista. Este sistema incluye un inversor solar Must de 3 kW (3000 W) con una fase residual de 120/220 V, cuatro paneles solares Longi de 580 W cada uno y dimensiones de 2,27 × 1,13 m, así como una batería de litio de 24 V y 100 Ah para el almacenamiento de energía. Además, el sistema está equipado con material de cubierta, protección eléctrica para corriente continua (CC) y corriente alterna (CA) y un sistema de puesta a tierra que garantiza un funcionamiento seguro y eficiente, de acuerdo con las especificaciones de diseño.

Tabla 2.

Kit solar de 3 KW

Componentes	Descripción
Inversor	Inversor solar Must de 3 kW, 120 V / 220 V
Paneles solares	4 paneles Longi de 580 W (2,27 m × 1,13 m)
Batería	Batería de litio 24 V – 100 Ah
Estructura	Accesorios de sujeción para techo
Protecciones	Protecciones AC y DC con puesta a tierra

Elaborado por: El Autor, 2026

Nota: Los datos se obtuvieron de Korytech (2025).

El kit de paneles solares seleccionado fue de la empresa Korytech (2025) a un precio de $1,800.00, que es el precio anunciado considerando su costo comercial normal de $1,960.00. Sin embargo, aunque el kit contiene una cierta cantidad de paneles solares, los cálculos de ingeniería del número requerido de módulos fotovoltaicos se llevaron a cabo de forma independiente

para verificar la consistencia del tamaño del sistema y garantizar que coincida con el consumo de energía esperado.

$$Numero\ de\ módulos\ = \frac{10.000}{4.5 * 0.80 * 580}$$

$$Numero\ de\ módulos\ = 4.78$$

Por lo tanto, el valor resultante se redondea a los cinco paneles solares más cercanos para satisfacer completamente la demanda de energía y permitir los límites de seguridad del sistema. En este escenario, considerando que el sistema solar básico incluye cuatro paneles, es necesario agregar una unidad adicional para garantizar el funcionamiento más eficaz de acuerdo con las necesidades energéticas del proyecto.

Se analizó la producción de electricidad del sistema de paneles solares a partir de dos escenarios de diseño: uno compuesto por cuatro paneles solares y otro por cinco, precisando así si era necesario incorporar un panel adicional. Para cada escenario se calculó la capacidad instalada, la cual está determinada por el producto de la capacidad unitaria nominal de los paneles fotovoltaicos por el número total de paneles instalados. Luego, a partir de la energía diaria generada por la instalación fotovoltaica, se estima la producción mensual y anual, permitiendo determinar el porcentaje de la demanda eléctrica que se cubre utilizando cuatro y cinco paneles fotovoltaicos.

- Cálculo de 4 paneles solares.

Potencia instalada= número de paneles solares * potencia del panel

Potencia instalada = 4 * 580W = 2320W o 2.32KWp

Sistemas Solares (2025) indica que, la expresión matemática utilizada para estimar la generación diaria de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico se presenta a continuación:

Producción Diaria Realista (Wh) = Potencia (W) x HSP x Ratio de Rendimiento (PR).

Producción diaria realista (Wh) = 2320W * 4.5 * 0.80 = 8352W o 8.35 KWh/día.

Generación mensual = 8.35 KWh/ día * 30 días = 250.5 KWh/ mes

Generación anual = 250.5 KWh/ mes * 12 meses = 3006 KWh/ año

La cobertura energética se determinó mediante el cálculo del porcentaje de satisfacción de la demanda, el cual permitió evaluar qué proporción del consumo

eléctrico requerido fue cubierta por la energía generada por el sistema propuesto. Para ello, se relacionó la energía efectivamente generada por el sistema fotovoltaico con la demanda energética establecido para la vivienda, expresándose el resultado en términos porcentuales. Matemáticamente, este indicador se obtiene dividiendo la energía generada (250,5 kWh) entre la demanda mensual de referencia (300 kWh) y multiplicando el cociente por 100.

Cobertura= (E demanda / E generada) * 100

$$\text{Cobertura} = \left(\frac{250,5}{300}\right) * 100 = 83.5\%$$

Como resultado, el sistema alcanza una cobertura del 83,5 % del consumo eléctrico mensual, evidenciando que no se logra una autosuficiencia total, pero sí una reducción significativa del consumo proveniente de la red convencional.

- Calculo con 5 paneles solares.

Potencia instalada = 5 * 580W = 2900W o 2.9KWp

Producción diaria realista (Wh) = 2900W * 4.5 * 0.80 = 10440W o 10.44 KWh/día.

Generación mensual = 10.44 KWh/ día * 30 días = 313.2 KWh/ mes

Generación anual = 313.2 KWh/ mes * 12 meses = 3758.4 KWh/ año

$$\text{Cobertura} = \left(\frac{313.2}{300}\right) * 100 = 104.4\%$$

El tamaño propuesto de cinco módulos fotovoltaicos de 580 W implica una producción mensual de 313,2 kWh, lo que supone una cobertura del 104,4% respecto a la demanda de referencia de 300 kWh. El sistema no sólo cubre todas las necesidades energéticas del hogar, sino que también genera un excedente del 4,4% (ver tabla 4). Este margen adicional es técnicamente necesario para tener en cuenta las variaciones estacionales en la iluminación de Guayaquil y compensar la disminución gradual anual en el desempeño de los componentes, asegurando así que el proyecto permanezca consumo neto cero (Net Zero) durante toda su duración.

Tabla 3.

Comparación del número de paneles solares necesarios.

Parámetro de Comparación	Escenario A (4 Paneles)	Escenario B (5 Paneles)	Diferencia
Potencia Total (kWp)	2,32 KWp	2,90KWp	+0.58 kWp
Generación Diaria	8,35KWh	10,44KWh	+2,09KWh
Generación Mensual	250,5KWh	313,2KWh	+62,7KWh
Generación Anual	3006KWh	3758,4KWh	+752,4KWh
Cumplimiento de Meta	83.5% (Parcial)	104.4% (Total)	+20.9%

Elaborado por: El Autor, 2026.

Después de decidir la cantidad de paneles solares necesarios, se calculó el área total cubierta por los cinco paneles.

Área del panel solar = 2.27 * 1.13 = 2.57 m^2

Este valor se multiplicó por 5, correspondiente al número total de paneles solares, disponiendo la superficie total ocupada por el panel fotovoltaico.

Área total de 5 paneles = 2.57 * 5 = 12.85 m^2

Autosolar (2025) sugiere dejar una distancia de 1,1 a 1,2 metros entre paneles fotovoltaicos para reducir la posibilidad de sombra entre paneles. Adicionalmente, La superficie calculada (12,85 m^2) se multiplica por un factor de 1,2 para tener en cuenta las divisiones técnicas, evitar sombras y facilitar el mantenimiento. De esta manera se consigue la superficie total del techado necesaria.

A= 12,85 m^2 * 1.2 = 15.42 m^2

Esta baja tasa de utilización es ventajosa porque permite colocar el sistema en una ubicación óptima para evitar que los componentes periféricos (tanques de agua, chimeneas) lo oscurezcan y deja un espacio significativo para una futura expansión del sistema en caso de que aumenten las necesidades energéticas del usuario.

Para calcular la capacidad de batería requerida de un sistema fotovoltaico, primero se determinó el consumo de energía diario. En segundo lugar, fue necesario determinar el número de días deseado de autonomía, normalmente se recomienda utilizar una fuente de energía de respaldo de 2 a 3 días, especialmente en zonas con condiciones climáticas desfavorables donde puede

haber largos períodos de falta de luz solar. Del mismo modo, fue importante tener en cuenta el voltaje del sistema (12V para sistemas pequeños, 24V para sistemas medianos y 48V para instalaciones grandes) ya que este ajuste afecta directamente a la configuración de la batería. Por último, la elección del tipo de batería es importante, ya que las baterías de litio tienen mayor eficiencia, superando el 90%, mientras que las baterías AGM y GEL, aunque más económicas, ofrecen un rendimiento inferior (Autosolar Energy Solutions, 2025).

Para este proyecto se eligió la batería de litio MUST LP18-24100, con una tensión nominal de 25,6 V y una capacidad nominal de 100 Ah, correspondiente a una energía almacenada de 2560 Wh y apta para sistemas fotovoltaicos de demandas medias. La vida útil de diseño es de 6000 ciclos a 25 °C y 80 % de profundidad de descarga (DOD), lo que garantizo una larga vida útil. El voltaje de carga recomendado es 29,2 V, la corriente de carga recomendada es 20 A, la corriente máxima es 100 A; Al descargar soporta una corriente recomendada de 50A y máxima de 100A, un voltaje final de descarga de 22V y apagado automático a 22.0V (2 segundos). El rango de temperatura de funcionamiento es de 0 a 45°C y la temperatura de almacenamiento es de -5 a 35°C. Además, permite la conexión en paralelo de hasta 15 módulos, permitiendo escalar el rendimiento del sistema dependiendo de las necesidades de energía (Ecozaque ingeniería S.A.S., 2026).

Según Solarplak (2023), se emplearon las siguientes fórmulas para el cálculo del número de baterías requeridas en el sistema fotovoltaico.

1. (Consumo en Wh) x (días) x (factor de corrección) / (profundidad de descarga) = total en Wh.
2. Total en Wh / voltaje de batería = amperios hora.

Para compensar las pérdidas e ineficiencias del sistema, se aplicó un factor de corrección de 1,1.

- **Consumo diario:** 10,000 Wh (300 kWh/mes)
- **Días de autonomía:** 1
- **Factor de corrección:** 1.1
- **Profundidad de descarga (DOD):** 0.8
- **Voltaje del sistema:** 24 V

$$\frac{10{,}000 * 1 * 1.1}{0.8} = 13{,}750\ Wh$$

$$\frac{13{,}750\ Wh}{24\ V} = 572.92\ Ah$$

Después de determinar la capacidad requerida en amperios-hora, el valor se dividió por la capacidad nominal de la batería (100 Ah) obteniendo la cantidad requerida de unidades.

$$\frac{572.92\ Ah}{100\ Ah} = 5.73$$

Se determinó que fue necesario disponer seis baterías de litio de 100 Ah conectadas en paralelo en el sistema de 24 V, lo que permitiría una capacidad total de 14.400 Ah (600 Ah). Este tamaño cumple con criterios de diseño conservadores para maximizar la confiabilidad y longevidad del sistema. Teniendo en cuenta una profundidad de descarga (DOD) del 80% y un factor de corrección de 1,1, se garantiza una energía neta estimada de 11.000 Wh. Esta configuración asegura la independencia de la casa en las condiciones de poca luz de Guayaquil y reduce el estrés electroquímico de las celdas, evitando descargas profundas y optimizando el número de ciclos, lo que en el largo plazo aumenta la estabilidad operativa y la rentabilidad del sistema.

4.3. Reducción de la huella de carbono eléctrica por sustitución fotovoltaica

4.3.1. Identificación de fuente

Se basó en el Alcance 2 de acuerdo con la metodología establecida en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, que considera las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero derivadas del consumo de electricidad comprada. Por lo tanto, se analizó la reducción de estas emisiones mediante la sustitución de la electricidad convencional por energía solar fotovoltaica.

4.3.2. Selección de método de cálculo

Según Sotos (2015), para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero de Alcance 2 se utilizan dos métodos de cálculo: el método de mercado y el método de ubicación, que permiten evaluar estas emisiones en base a diferentes criterios relacionados con las características contractuales de la electricidad comprada.

El método basado en el mercado se utiliza para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de alcance 2 de un informante a partir de las

emisiones asociadas a la electricidad adquirida mediante instrumentos contractuales, tales como contratos de suministro eléctrico o certificados específicos. En este enfoque, las emisiones se asignan utilizando factores de emisión derivados de la tasa de emisión de GEI declarada en dichos instrumentos contractuales, siempre que cumplan con los Criterios de Calidad del Alcance 2. Este método es aplicable en mercados donde los consumidores pueden elegir entre productos eléctricos diferenciados o acceder a datos específicos del proveedor a través de acuerdos contractuales. Resulta especialmente útil para evidenciar acciones individuales de compra corporativa, oportunidades de influencia sobre proveedores de electricidad y el suministro energético, así como para identificar riesgos y oportunidades asociados a relaciones contractuales, incluyendo aspectos regulatorios o legales. No obstante, este método no refleja las emisiones promedio del lugar geográfico donde se consume la electricidad.

El procedimiento sustentado en la ubicación calcula las emisiones de gases de efecto invernadero para el Alcance 2 aplicando factores de emisión de electricidad promedio específicos para un área geográfica definida, la cual puede abarcar límites locales, subnacionales o nacionales, y un período de tiempo específico. En este caso, las emisiones se asignan con base en factores que representan la intensidad promedio de GEI de la generación eléctrica que ocurre dentro de dicha área geográfica. Este método se aplica a todas las redes eléctricas y es particularmente útil para mostrar la intensidad de GEI de las redes donde se desarrollan las operaciones, independientemente del tipo de mercado, así como el desempeño agregado de sectores con uso intensivo de energía. Además, permite analizar riesgos y oportunidades vinculados a los recursos de la red local y a las emisiones asociadas.

Por consiguiente, se aplicó el método basado en la ubicación para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de electricidad en función del factor de emisión promedio de la red eléctrica correspondiente al área geográfica donde se desarrolla la actividad.

4.3.3. Factor de emisión

Criollo indica (2024) que, el factor de emisión correspondiente al sistema eléctrico del Ecuador es de 0.1616 t $CO_{2\text{-}eq}$ / MWh, valor que representa la

cantidad de dióxido de carbono equivalente emitida por cada megavatio-hora de electricidad generada.

El factor de emisión para la energía solar fotovoltaica tiene un rango de 20 y 50 gramos CO2 KWh. Señalando que la mayor proporción de estas emisiones no se produce durante la fase de operación, sino que está asociada principalmente al proceso de fabricación de los paneles solares (Novaluz Energía, 2025).

Dado que el factor de emisión de la energía solar se presenta en un rango de 20 a 50 g CO_2/kWh, se adoptó el valor promedio de 35 g CO_2/kWh como referencia para el análisis. Posteriormente, se realizó la conversión de unidades al Sistema Internacional, obteniéndose 0.000035 t $CO_{2\text{-eq}}$ /kWh. Finalmente, al convertir la base energética de kWh a MWh (1 MWh = 1 000 kWh), el factor de emisión equivalente corresponde a 0.035 t $CO_{2\text{-eq}}$ / MWh.

4.3.4. Calculó de emisión de dióxido de carbono (CO2)

Se uso la fórmula que señala Criollo (2024), en el informe de factor de emisión de co2 del sistema nacional interconectado de ecuador.

$$FE = \frac{emisiones\ totales\ de\ CO_2}{electricidad\ generada}$$

En consecuencia, se efectuó el despeje algebraico de la ecuación original, obteniendo la siguiente expresión matemática.

Emisiones totales de CO_2= electricidad generada * FE

A partir de la encuesta a los habitantes del sector, se determinó que el consumo anual de energía eléctrica conectada a la red es de 3600 kWh/año. Para efectos del cálculo de emisiones, este valor se convirtió a megavatio-hora, dividiéndolo por el factor de conversión correspondiente (1000), obteniéndose un consumo equivalente de 3.6 MWh/año

Emisiones totales de CO_2= 3.6 MWh/ año * 0,1616 t $CO_{2\text{-eq}}$ / MWh

Emisiones totales de CO_2= 0.58176 t $CO_{2\text{-eq}}$ / anual.

Se efectuó la cuantificación de las emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual de electricidad mediante el sistema compuesto por cinco paneles solares, descrito en la sección 4.2.6.(Sistema Fotovoltaico). La producción energética estimada corresponde a 3758,4 kWh/año, equivalente a 3.7584 MWh/año, valor que constituye la base para el cálculo de las emisiones en el escenario con energía solar.

Emisiones totales de CO_2= 3.7584 MWh/año * 0.035 t $CO_{2\text{-eq}}$ / MWh

Emisiones totales de CO_2= 0.131544 t $CO_{2\text{-eq}}$ / anual.

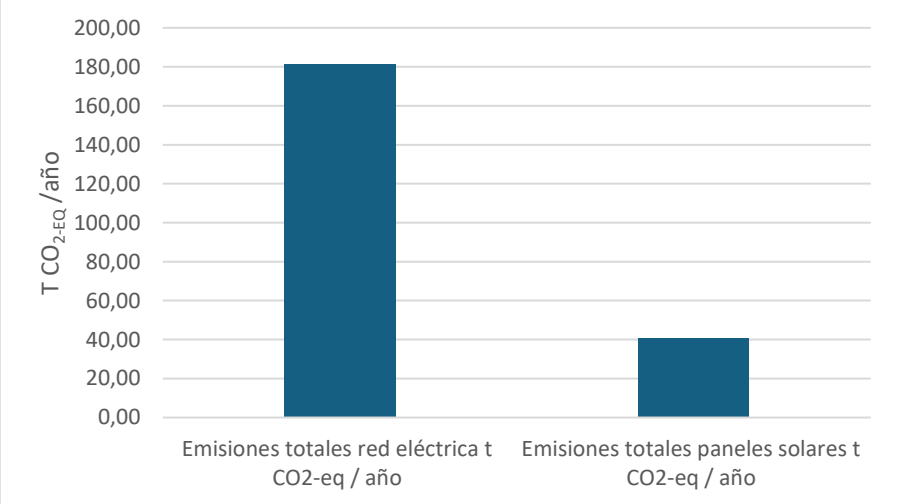
Los resultados muestran diferencias significativas entre ambos escenarios evaluados para la vivienda. El consumo de electricidad procedente de la red provoca unas emisiones de 0.58176 t $CO_{2\text{-eq}}$/ año, correspondiente al factor de emisión del sistema eléctrico nacional. Por el contrario, el escenario de células solares muestra unas emisiones de 0.131544 t $CO_{2\text{-eq}}$/ año, que corresponden principalmente a emisiones indirectas relacionadas con el ciclo de vida del sistema fotovoltaico. Esto demuestra que las emisiones de dióxido de carbono se reducen significativamente al sustituir la electricidad convencional por energía solar.

A partir de los valores de emisiones obtenidos para una vivienda, se procedió a estimar las emisiones totales a escala de la urbanización considerando las 312 viviendas.

- Emisiones totales red eléctrica= 0.58176 t $CO_{2\text{-eq}}$ / año * 312
- Emisiones totales red eléctrica= 181.509 t $CO_{2\text{-eq}}$ / año.
- Emisiones totales paneles solares= 0.131544 t $CO_{2\text{-eq}}$ / año * 312
- Emisiones totales paneles solares= 41.042 t $CO_{2\text{-eq}}$ / año.

Figura 13.

Diferencia de emisiones CO2



Elaborado por: El Autor, 2026.

El gráfico 20 evidencia una diferencia significativa entre las emisiones de $CO_{2\text{-eq}}$ generadas por el consumo de energía proveniente de la red eléctrica convencional y aquellas asociadas al uso de sistemas fotovoltaicos. Se observa

que el escenario dependiente de la red presenta una carga ambiental considerablemente superior, mientras que la implementación de paneles solares reduce de manera sustancial las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos resultados demuestran la efectividad de la energía solar como alternativa de generación limpia, al disminuir la huella de carbono derivada del consumo eléctrico residencial. De igual modo, la notable reducción de las emisiones valida la capacidad de los sistemas solares para ayudar en la transición hacia una energía más limpia y reducir la dependencia de las fuentes tradicionales, lo que mejora la sostenibilidad ambiental y el suministro de energía a nivel comunitario.

4.3.4. Reducción de emisiones

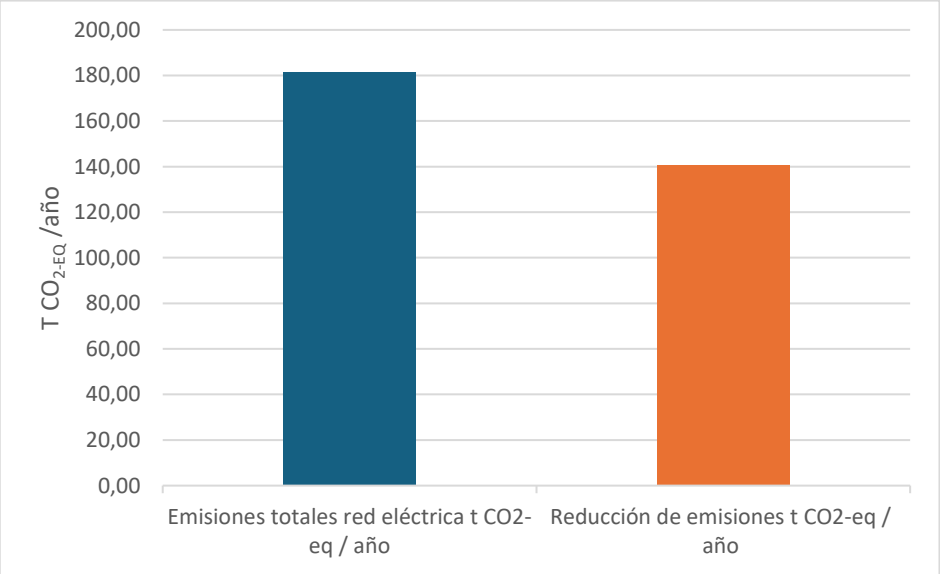
La reducción de gases de efecto invernadero se determinó calculando la diferencia entre las emisiones globales asociadas al uso de electricidad de la red y las emisiones producidas por los sistemas de energía solar.

Reducción de emisiones= 181.509 t $CO_{2\text{-eq}}$ / año – 41.042 t $CO_{2\text{-eq}}$ / año

Reducción de emisiones = 140.467 t $CO_{2\text{-eq}}$ / año.

Figura 14.

Comparativa de emisiones de CO2



Elaborado por: El Autor, 2026.

El grafico comparativo mostraba la variación entre las emisiones equivalentes de CO2 producidas al utilizar electricidad de la red tradicional y la reducción de emisiones lograda gracias a la instalación de sistemas solares. Se observó que la reducción alcanzada representa un porcentaje significativo de las emisiones

iniciales, lo que demostró el impacto positivo de la energía solar en la mitigación de gases de efecto invernadero. La estrecha relación entre ambos valores reflejó que gran parte de las emisiones relacionadas con el consumo de electricidad pueden evitarse sustituyendo las fuentes convencionales por generación fotovoltaica. Por lo tanto, se evidenció que la integración de la energía solar es una estrategia eficaz para reducir la huella de carbono de la electricidad, disminuir la dependencia de la red convencional y promover procesos de transición energética sostenible a nivel doméstico y comunitario.

5. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el desarrollo de Ciudad Santiago, en la etapa La Ría, depende de la disponibilidad de electricidad convencional, dado el uso generalizado de equipos de alto consumo energético, especialmente sistemas de aire acondicionado. Las encuestas muestran que el 57,1% de los hogares cuenta con uno o dos aparatos de aire acondicionado, mientras que un porcentaje menor posee más de tres, lo que incrementa la demanda energética doméstica.

Además, el análisis del consumo eléctrico reveló que una parte significativa de los hogares tiene un consumo mensual de entre 151 y 300 kWh, mientras que otro grupo consume más de 300 kWh al mes. Estos resultados indican un patrón de consumo energético de moderado a alto, impulsado no solo por el aire acondicionado, sino también por otros electrodomésticos de alta potencia como lavadoras, refrigeradores y placas de inducción.

Acerca del potencial de la energía fotovoltaica, los datos obtenidos gracias a instrumentos de análisis solar demuestran que la zona en cuestión ofrece condiciones óptimas para su aprovechamiento. Los niveles de radiación y la superficie útil de los tejados hacen técnicamente viable la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica. Además, los análisis horarios de la radiación solar indican una cantidad suficiente de energía durante la mayor parte del año, lo cual resulta beneficioso para la producción de electricidad a partir de paneles solares.

A su vez, el elevado rango de aceptación social observado en las encuestas constituye un elemento positivo para una posible transición energética en la comunidad. La gran mayoría de los participantes manifestó su deseo de participar en iniciativas de instalación de energía solar, especialmente si existen opciones de financiación accesibles o incentivos económicos. Esto indica que el principal obstáculo para la adopción de tecnologías fotovoltaicas no radica en la falta de información o apoyo social, sino más bien en los aspectos financieros relacionados con la inversión inicial necesaria para instalar sistemas solares.

En cuanto a la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero, los resultados revelaron notables diferencias entre el modelo tradicional de consumo eléctrico y el modelo que utiliza energía solar fotovoltaica. El consumo eléctrico promedio por hogar se estimó en 3600 kWh al año, equivalente a 3,6 MWh al año. Utilizando el índice nacional de emisiones del sistema eléctrico, se calculó

una emisión aproximada de 0,58176 toneladas de CO_2 equivalente al año por cada hogar conectado a la red eléctrica tradicional.

Desde otra perspectiva, el sistema solar mostró menores emisiones, estimadas en aproximadamente 0,131544 toneladas de CO_2 equivalente por año y por hogar. Estas emisiones se relacionan primordialmente con impactos indirectos vinculados al ciclo de vida de la construcción, el transporte y la instalación de los paneles solares, dado que el sistema fotovoltaico no emite directamente gases de efecto invernadero durante la producción de electricidad. Esta tendencia coincide con numerosos estudios científicos que sitúan a la energía solar como una de las alternativas renovables con menor impacto ambiental durante su funcionamiento.

En el entorno comunitario, al tomar en cuenta las 312 viviendas del proyecto, las emisiones totales derivadas del uso de electricidad convencional de la red fueron de aproximadamente 181.509 toneladas de CO_2-eq/año. En contraste, el modelo basado en sistemas fotovoltaicos mostró emisiones de aproximadamente 41.042 toneladas de CO_2-eq/año, lo que representa una reducción de aproximadamente 140.467 toneladas de CO_2-eq/año. Estos datos resaltan el importante potencial de reducción del impacto ambiental que supone el uso de energía solar fotovoltaica en zonas residenciales urbanas.

En definitiva, los resultados respaldan la hipótesis formulada en el estudio, demostrando que la expansión urbana de Ciudad Santiago cuenta con condiciones técnicas, ecológicas y sociales favorables para la implementación de una transición energética centrada en la energía solar fotovoltaica. Sin embargo, si bien la implementación de sistemas fotovoltaicos es una alternativa técnicamente viable y ambientalmente eficiente, su consolidación requiere el fortalecimiento de políticas públicas y marcos regulatorios que promuevan el uso de fuentes de energía renovables mediante incentivos fiscales, programas de financiamiento, subsidios y estrategias de generación de energía distribuida.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En primer lugar, con respecto a la caracterización del contexto energético residencial en la urbanización Ciudad Santiago, etapa La Ría, se determinó una demanda eléctrica concentrada en el uso de climatización, donde el 80.5 % de las viviendas posee equipos de aire acondicionado y el 77.9 % registra un consumo mensual bajo a moderado comprendido entre los 151 y 300 kWh. Asimismo, el diagnóstico socioambiental reflejó una alta aceptabilidad social hacia la energía solar, respaldada por un 85.7 % de conocimiento previo y un 87.0 % de apertura hacia la participación en proyectos comunitarios, identificándose el costo de inversión inicial como la principal barrera económica de la población.

En segundo lugar, en lo relativo a la identificación del potencial solar, las estimaciones mediante herramientas especializadas confirmaron condiciones óptimas de radiación en la zona, registrando una irradiancia horizontal global de 1564.3 kWh/m²·año y una producción fotovoltaica proyectada de 1205 MWh anuales. De igual forma, el dimensionamiento técnico demostró que un sistema de 5 paneles de 580 W por vivienda logra una cobertura energética del 104.4 %, garantizando la autosuficiencia eléctrica residencial frente a las fluctuaciones del consumo habitual.

En tercer lugar, con relación a la cuantificación de la huella de carbono, se comprobó que el reemplazo de la electricidad proveniente del Sistema Nacional Interconectado por generación fotovoltaica reduce las emisiones anuales por vivienda de 0.58176 t CO_2-eq a únicamente 0.131544 t CO_2-eq. A escala comunitaria, para la totalidad de las 312 viviendas de la etapa, esta transición representa una disminución de 181.509 t CO_2-eq/año a 41.042 t CO_2-eq/año, alcanzando una mitigación efectiva de 140.467 t CO_2-eq/año, lo que equivale a una reducción del 77.39 % de la huella de carbono eléctrica.

En conclusión, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos a escala comunitaria en la urbanización Ciudad Santiago se consolida como una estrategia técnicamente viable, ambientalmente eficiente y socialmente respaldada, constituyendo una alternativa efectiva para avanzar hacia la sostenibilidad y resiliencia energética local.

6.2. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda implementar programas comunitarios de gestión energética destinados a optimizar el consumo de electricidad en los hogares mediante estrategias de eficiencia energética, el monitoreo del consumo y la promoción del uso racional de la energía, con el objetivo de reducir gradualmente la dependencia de la red eléctrica convencional.

De igual manera, se propone fortalecer la implementación de sistemas fotovoltaicos mediante programas de financiamiento accesibles, incentivos fiscales y mecanismos de apoyo financiero promovidos por entidades públicas y privadas. Asimismo, se recomienda impulsar políticas públicas locales enfocadas en la transición energética, facilitando la adopción de tecnologías de energías renovables en el sector residencial y fortaleciendo los modelos de generación distribuida a nivel comunitario.

Además, se recomienda realizar estudios técnicos y económicos complementarios para evaluar la viabilidad general de los sistemas fotovoltaicos, considerando el análisis del retorno de la inversión, los costos de instalación, operación y mantenimiento, la vida útil de los equipos, el ahorro energético proyectado y los periodos de recuperación económica. Estos análisis contribuirán a fortalecer la toma de decisiones y el diseño de futuros proyectos de energías renovables.

Finalmente, se propone ampliar la investigación futura para incluir el diseño técnico de sistemas energéticos más eficientes, como configuraciones híbridas, almacenamiento en baterías y sistemas inteligentes de gestión de la demanda. Esto permitirá maximizar el uso de la energía solar, aumentar la independencia energética y crear modelos sostenibles de descarbonización y resiliencia energética en comunidades urbanas similares.

7. BIBLIOGRAFÍA

Adeleke, J. (Agosto de 2023). *Guía completa sobre los tipos de paneles solares.* Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/372909989_Comprehensive_Guide_to_Solar_Panel_Types

AENOR. (2025). *Herramienta de mitigación del cambio climático*. Obtenido de https://www.aenorecuador.com/certificacion/medio-ambiente/huella-carbono-producto

Agencia Internacional de Energías Renovables. (20 de Junio de 2023). *Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas.* Ciencia latina revista científica multidisciplinar: https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6835/10389

Asamblea Nacional. (2015). Ley Organica Del Servicio Publico De Energia Electrica.

Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución de la Republica del Ecuador.

Asamblea Nacional República Del Ecuador. (2019). Ley Orgánica De Eficiencia Energética.

Autosolar. (2025). *¿A qué distancia deben colocarse los paneles solares?* https://autosolar.pe/energia-solar/a-que-distancia-deben-colocarse-los-paneles-solares#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20distancia%20debe%20haber%20entre,solares%20y%20potenciar%20tu%20ahorro.

Autosolar Energy Solutions. (2025). *¿Qué capacidad de batería necesito para un panel solar?* Obtenido de https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-capacidad-de-bateria-necesito-para-un-panel-

solar#:~:text=un%20panel%20solar?-,%C2%BFQu%C3%A9%20capacidad%20de%20bater%C3%ADa%20necesito%20para%20un%20panel%20solar?,instalaci%C3%B3n%20fotovoltaica%20y%20c%C3%B3m

Banco Interamericano de Desarrollo. (2024). *Una mirada al sector energético en América Latina y el Caribe.* file:///C:/Users/Angel/Downloads/Watts-on-una-mirada-al-sector-energetico-de-America-Latina-y-el-Caribe%20(1).pdf

Bertinat, P., & Navntoft, L. (Febrero de 2024). *El aporte solar térmico a la transición energética en Colombia.* Fundación Rosa Luxemburg, Oficina Región Andina: https://rosalux.org.ec/pdfs/aporte-solar-termico-transicion-energetica-colombia.pdf

Caballero, A. (26 de Septiembre de 2023). *Energía solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas.* https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar#la-energia-solar-fotovoltaica

Caballero, A. (26 de Febrero de 2025). *Guía para comprender el autoconsumo solar fotovoltaico*. https://climate.selectra.com/es/que-es/autoconsumo#:~:text=instalaciones%20de%20producci%C3%B3n.-,La%20instalaci%C3%B3n%20de%20placas%20solares%20para%20el%20autoconsumo,por%20la%20instalaci%C3%B3n%20de%20autoconsumo.

Cleveland, J. (20 de Febrero de 2024). *Energía solar pasiva: Aprovecha al máximo la energía del sol*. https://crowmie.com/energia-solar-pasiva/

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2018). *Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001.* https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/SGEn/manuales/Guia_ISO_50001_2018_paginas_web1.pdf

Corado, K. (19 de Agosto de 2025). *Estado actual y perspectivas de la integración de energías renovables en Centroamérica.* Ciencia latina revista científica multidisciplinar: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.18887

Cordero, R. (2 de mayo de 2025). *Tipos de paneles solares*. https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/

Corporación Nacional de Electricidad. (1 de octubre de 2025). *Manual de instalación de sistemas de generación distribuida.* MN-TEC-CTR-100: https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2025/10/Manual-de-instalaci%C3%B3n-de-Sistemas-de-Generaci%C3%B3n-Distribuida.pdf

Criollo, R. (2024). *Factor de emisión de co2 del sistema nacional interconectado de ecuador.* Operador Nacional de Electricidad (CENACE): https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/09/Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2024_compressed.pdf

Dirección Nacional Jurídica . (2024). Ley Orgánica De Competitividad Energética. En D. d. Consultas.

Domínguez Bravo, J., Martín Ávila, A., Domínguez Benito, M., y Arranz, B. (12 de abril de 2024). *Transición Energética y Ecosocial: Aprovechamiento del Potencial Solar para una Comunidad Energética en Orcasitas.* https://revistascientificas.us.es/index.php/HyS/article/view/25769/23363

Ecozaque ingeniería S.A.S. (2026). https://www.ecozaque.com/producto/bateria-litio-100ah-24vdc-lp18-24100-must/

Eficiencia ecologica. (8 de marzo de 2025). *¿Cómo calcular una instalación de placas solares?* https://eficienciaecologica.com/preguntas-frecuentes/como-

calcular-una-instalacion-de-placas-solares#:~:text=N%C3%BAmero%20de%20m%C3%B3dulos%20para%20instalaci%C3%B3n%20de%20uso%20para%20fin%20de,3%2C8%20Redodeando%204%20m%C3%B3dulos

El Especialista. (11 de agosto de 2023). *El panel solar fotovoltaico y cómo funciona.* https://energydcac.com/panel-solar-fotovoltaico-funcionamiento/

ERCAM. (26 de junio de 2023). *Máxima eficiencia de la energía solar: La inclinación ideal de los paneles solares*. Energía ERCAM: https://ercam.es/maxima-eficiencia-de-la-energia-solar-la-inclinacion-ideal-de-los-paneles-solares/#:~:text=Importancia%20de%20una%20inclinaci%C3%B3n%20correcta,paneles%20solares%20est%C3%A9n%20correctamente%20inclinados.

Fernandez, M. (29 de mayo de 2021). *Energía solar pasiva: todo lo que tienes que saber*. Obtenido de https://www.otovo.es/blog/energia/energia-solar-pasiva/

Flores, L., y Jáuregui, I. (julio de 2020). *Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001:2018*. Obtenido de https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/SGEn/manuales/Guia_ISO_50001_2018_paginas_web1.pdf

Frausto, L. (27 de enero de 2026). *Termosolaridad pasiva: un potencial marginado.* Tendencias en energías renovables y sustentabilidad (TERYS): https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.637

Greenhouse Gas Protocol. (2025). https://ghgprotocol.org/about-us

Grupo NAP. (2025). *Energía Solar Fotovoltaico.* Colegio Oficial De Ingenieros De Telecomunicación: https://www.elpollourbano.es/wp-content/uploads/2022/10/219Informe-energia_solar_fotovoltaica.pdf

Inca, G. S., Villalta, D., Cabrera, H., Cabrera, D., y Bautista, R. (mayo de 2023). *Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas.* Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar: https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6835/10387

ISO. (agosto de 2018). *Gases de efecto invernadero — Huella de carbono de productos — Requisitos*. https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71206/6673a305f54449078c52bf7033ae5b02/ISO-14067-2018.pdf

Kean , W., Sotos, M., Doust , M., Schultz, S., Marques, A., y Deng-Beck, C. (2025). *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories.* Greenhouse Gas Protocol: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GPC_Full_MASTER_RW_v7.pdf

Korytech. (2025). korytech tu tienda solar: https://tutiendasolar-ec.com/producto/kit-solar-3kw/

Merritt, H., y Vilchis Flores, J. (15 de diciembre de 2023). *El liderazgo de China en energía solar fotovoltaica y su impacto en el comercio internacional de paneles solares.* México Y La Cuenca Del Pacífico: https://www.mexicoylacuencadelpacifico.cucsh.udg.mx/index.php/mc/article/view/870

Ministerio de Energía y Minas. (18 de septiembre de 2023). *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de Ministerio de Energía y Minas fortalece instrumentos regulatorios para la generación distribuida y el autoabastecimiento: https://www.recursosyenergia.gob.ec/ministerio-de-energia-y-minas-fortalece-instrumentos-regulatorios-para-la-generacion-distribuida-y-el-autoabastecimiento/

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2025). *Huella de carbono.* https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/#:~:text=La%20huella%20de%20carbono%20se,conocer%20las%20conductas%20o%20acciones

Moncada Pesantes, B. (15 de noviembre de 2024). *BBC Mundo News, Ecuador*. BBC Mundo News: https://www.bbc.com/mundo/articles/c05z0vr0rneo#:~:text=Ecuador%20enfrenta%20un%20d%C3%A9ficit%20energ%C3%A9tico,se%20resolver%C3%A1%20a%20corto%20plazo%22.

Naciones Unidas . (2015). *Acuerdo de París.* https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

National Geographic. (23 de noviembre de 2022). https://www.nationalgeographicla.com/historia/2022/11/que-es-el-teorema-de-pitagoras

Novaluz Energía. (21 de enero de 2025). *Cómo influyen las diferentes fuentes de energía en la emisión de CO2 durante la generación de electricidad*. https://novaluz.es/las-fuentes-de-energia-en-la-emision-de-co2/#:~:text=Solar.%20La%20energ%C3%ADa%20solar%20tambi%C3%A9n%

20es%20altamente,provienen%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20paneles%20solares.

Osornio, J., Domínguez, O., Miranda , A., Reyes, F., y Vargas, E. (2022). *Energía solar térmica.*TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río: https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/8879/9075

Primicias. (10 de diciembre de 2024). *Primicias*. https://www.primicias.ec/economia/crisis-electrica-cortes-luz-diciembre2025-apagones-ecuador-85096/#:~:text=Dos%20hombres%20comiendo%20en%20un,6%20de%20diciembre%20de%202024.&text=Fueron%20tres%20meses%20de%20cortes,reconoci%C3%B3%20el%20presidente%20Dani

Rodríguez, K., De Moure , F., y Quiñones , J. (julio de 2020). *Energía solar fotovoltaica*. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/X1_71_3_1267_EnergiaSolar.pdf

Ruiz, A. (2026). Fundación Descubre : https://descubre la energia.fundacion descubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/energias-renovables/que-es-la-potencia-pico-y-que-importancia-tiene-en-los-paneles-solares-fotovoltaicos/#:~:text=Calculo%20de%20la%20potencia%20pico%20necesaria%20Cons

sieLAC-OLACDE. (2025). *Capacidad instalada de generación eléctrica.* https://sielac.olade.org/WebForms/TemasEnergeticos/Reportes/InfogramaBurbuja.aspx?or=606&ss=2&v=3

Sistemas solares. (19 de mayo de 2025). *Cómo calcular los watts de un Panel solar: Guía 2024*. https://solaringenieria.com/formula-para-sacar-

potencia-producida-por-panel-solar/#:~:text=C%C3%A1lculo%20Diario%20Simplificado&text=Supongamos%20que%20tienes%20un%20panel,(75%25%20y%2090%25).&text=Usando%20el%20mismo%20ejemplo%20con,al%20d%C3%ADa%2C%20o%

Solarplak. (2023). https://solarplak.es/energia/como-calcular-cuantas-baterias-necesito-para-mi-instalacion-solar/

Sotos, M. (enero de 2015). *Greenhouse gas protocol.* Protocolo de GEI Orientación de Alcance 2: https://ghgprotocol.org/scope-2-guidance

Tapia, M., Ramos, L., Heinemann, D., y Zondervan, E. (29 de diciembre de 2023). *Evaluación del potencial fotovoltaico en tejados en el cantón Quito.* http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2477-91052023000200047#:~:text=Este%20es%20el%20caso%20de,kWh%2Fm%C2%B2%2Fd%204.

University of Calgary. (2025). *Efecto fotovoltaico.* https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect#:~:text=El%20efecto%20fotovoltaico%20es%20un,expon%C3%ADan%20a%20la%20luz%20solar.

8. Anexos

Anexo 1.

Capacidad energética del Ecuador.

Año	País	Tipo de energía	Capacidad energía instalada	Unidad
2016	Ecuador	Hidroenergía	4446.36029	MW
2016	Ecuador	Eólica	21.15	MW
2016	Ecuador	Nuclear	0	MW
2016	Ecuador	Solar	26.47728	MW
2016	Ecuador	Térmica no renovable	3586.1356	MW
2016	Ecuador	Térmica renovable	146.3	MW
2020	Ecuador	Hidroenergía	5098.74599	MW
2020	Ecuador	Eólica	21.15	MW
2020	Ecuador	Nuclear	0	MW
2020	Ecuador	Solar	27.62984	MW
2020	Ecuador	Térmica no renovable	3413.20762	MW
2020	Ecuador	Térmica renovable	151.56	MW
2023	Ecuador	Hidroenergía	5192.29599	MW
2023	Ecuador	Eólica	71.13	MW
2023	Ecuador	Solar	29.05758	MW
2023	Ecuador	Térmica no renovable	3454.47262	MW
2023	Ecuador	Térmica renovable	152.62	MW

Nota: Datos obtenidos de Organización Latinoamericana de Energía

Elaborado por: El Autor, 2025.

Anexo 2.

Encuesta a moradores de la etapa La Ría

Estimado morador, esta encuesta tiene como objetivo recopilar información sobre el consumo energético y la percepción del uso de energía solar en la etapa La Ría. Sus respuestas son confidenciales y serán utilizadas únicamente con fines académicos.

1. ¿Cuántas personas habitan en su vivienda?

- ☐ 1–2
- ☐ 3–4
- ☐ 5–6
- ☐ Más de 6

2. ¿Cuántos equipos de aire acondicionado posee en su hogar?

- ☐ Ninguno
- ☐ 1–2
- ☐ 3–4
- ☐ Más de 4

3. ¿Qué capacidad tienen los equipos de aire acondicionado que utiliza principalmente?

- ☐ Menos de 12.000 BTU
- ☐ 12.000–18.000 BTU
- ☐ Más de 18.000 BTU
- ☐ No sabe / no responde

4. ¿Con qué frecuencia utiliza el aire acondicionado?

- ☐ Todos los días
- ☐ 3–5 veces por semana
- ☐ 1–2 veces por semana
- ☐ Menos de una vez por semana

5. ¿Durante cuántas horas en promedio mantiene encendido el aire acondicionado al día?

- ☐ Menos de 4 horas
- ☐ 4–8 horas
- ☐ 9–12 horas
- ☐ Más de 12 horas

6. Además del aire acondicionado, ¿qué otros equipos eléctricos de alto consumo utilizan con frecuencia en su hogar? (Marque todas las opciones que correspondan)

- ☐ Cocina de inducción
- ☐ Calefón eléctrico
- ☐ Secadora de ropa eléctrica
- ☐ Lavadora eléctrica
- ☐ Refrigeradora de gran capacidad
- ☐ Ninguno de los anteriores

7. ¿Cuál es el consumo mensual aproximado de electricidad en su hogar según la planilla de CNEL?

- ☐ Menos de 150 kWh
- ☐ 151–300 kWh
- ☐ 301–500 kWh
- ☐ Más de 500 kWh

8. ¿En qué rango se encuentra el valor de su planilla mensual de CNEL?

- ☐ Menos de $30

- ☐ $31–60
- ☐ $61–100
- ☐ Más de $100

9. ¿Ha notado un incremento en su factura eléctrica en los últimos 2 años?

- ☐ Sí, más del 25%
- ☐ Sí, entre 10% y 25%
- ☐ No ha variado significativamente
- ☐ Ha disminuido

10. ¿Conoce sobre el uso de paneles solares para generación eléctrica domiciliaria?

- ☐ Sí, mucho
- ☐ Sí, poco
- ☐ He escuchado, pero no sé mucho
- ☐ No conozco

11. ¿Considera que la instalación de paneles solares podría ayudar a reducir su factura eléctrica?

- ☐ Sí, mucho (más del 50%)
- ☐ Sí, moderadamente (25–50%)
- ☐ Sí, poco (menos del 25%)
- ☐ No lo cree posible

12. ¿Estaría dispuesto a invertir en un sistema de energía solar para su hogar si existieran facilidades de pago o financiamiento?

- ☐ Sí, definitivamente
- ☐ Tal vez, según el costo
- ☐ Difícilmente
- ☐ No

13. ¿Cree que la implementación de paneles solares en la comunidad ayudaría a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)?

- ☐ Sí, en gran medida
- ☐ Sí, moderadamente
- ☐ Sí, pero muy poco
- ☐ No tendría impacto

14. ¿Qué beneficios considera más importantes del uso de energía solar?

- ☐ Reducción de gastos
- ☐ Disminución de apagones
- ☐ Cuidado del ambiente
- ☐ Todos los anteriores

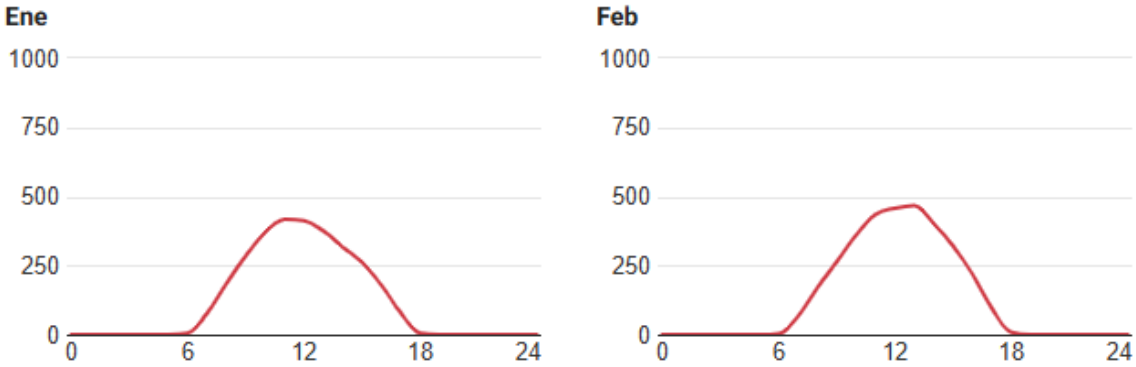
15. ¿Participaría en un proyecto comunitario de transición energética hacia energía solar en la etapa La Ría?

- ☐ Sí, definitivamente
- ☐ Tal vez, dependiendo del costo
- ☐ No estoy seguro
- ☐ No participaría

Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo 3.

Perfil horario promedio de Enero y Febrero

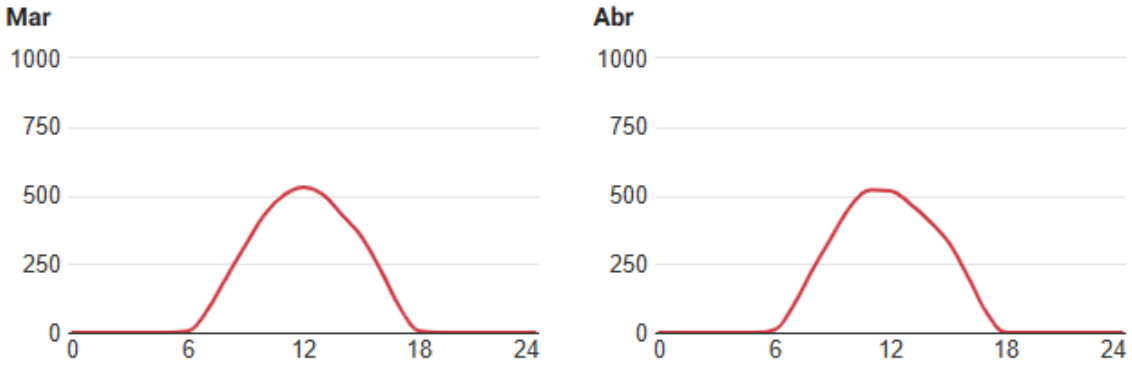


Elaborado por: El Autor, 2026

Perfil horario promedio de Marzo y Abril

Anexo 4.

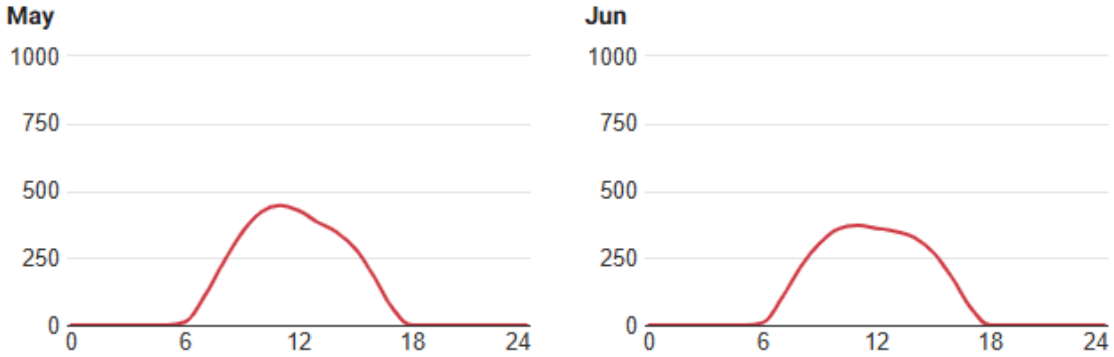
Perfil horario promedio de Marzo y Abril



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 5.

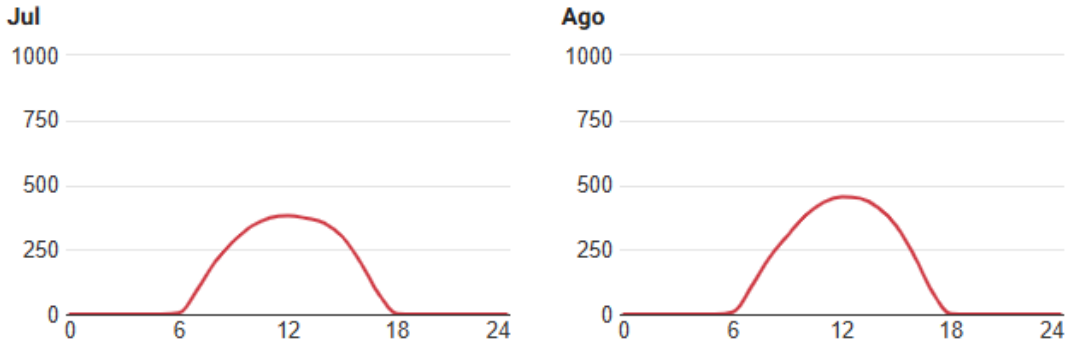
Perfil horario promedio de Mayo y Junio



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 6.

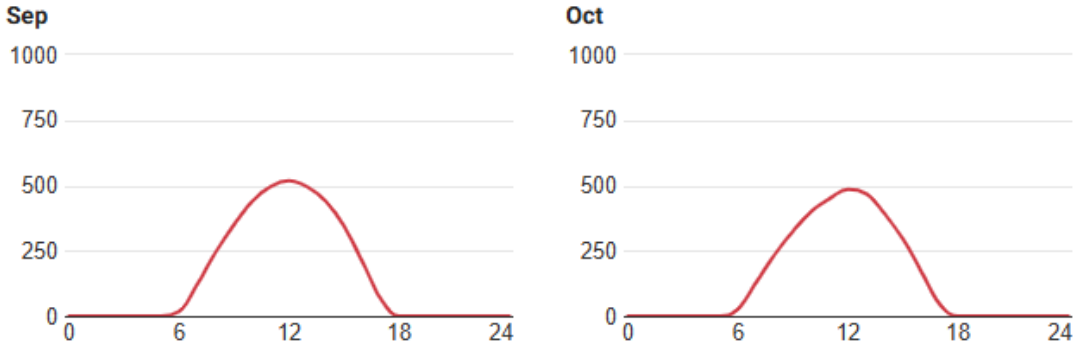
Perfil horario promedio de Julio y Agosto



Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo 7.

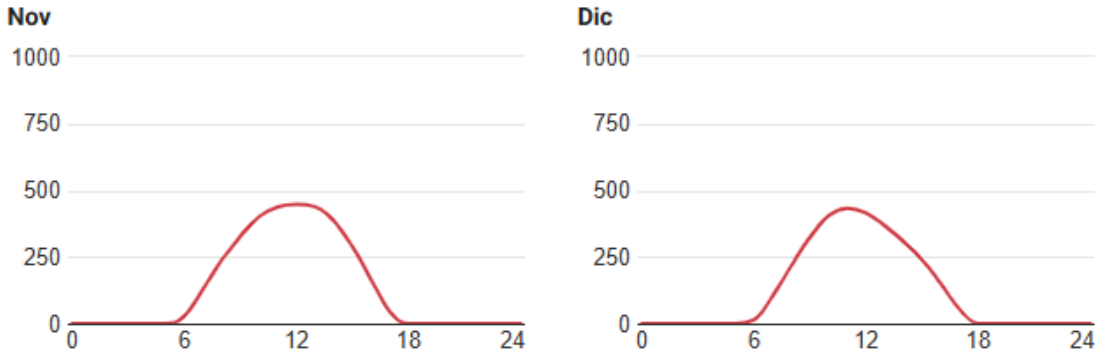
Perfil horario promedio de Septiembre y Octubre



Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo 8.

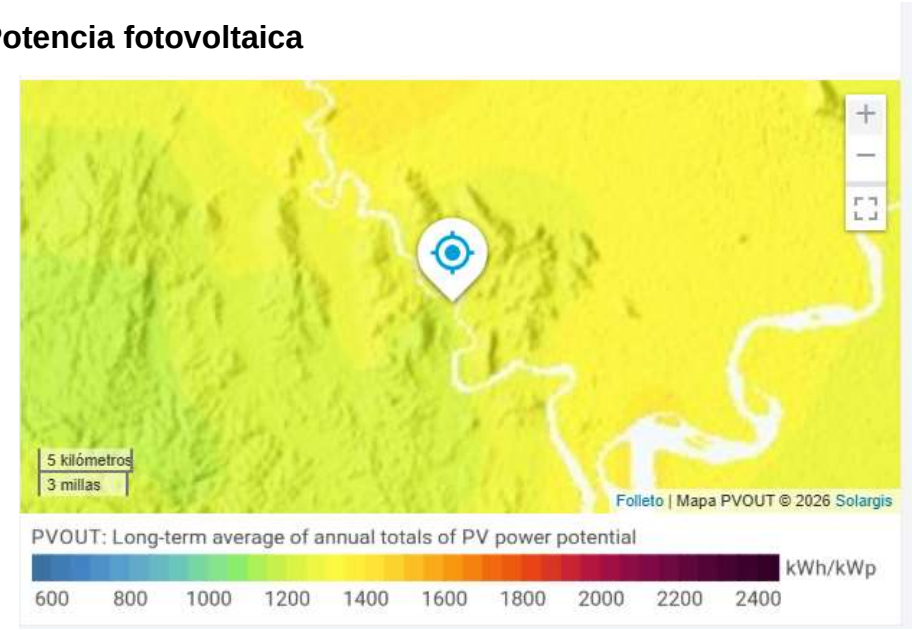
Perfil horario promedio de Noviembre y Diciembre



Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo 9.

Potencia fotovoltaica



Elaborado por: El Autor, 2026