



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE PETRÓLEOS

TEMA:

“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
ENERGÍA SOLAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO EN LA REFINERÍA LA LIBERTAD”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORA:

JULEIDY JULIANA SUAREZ SORIANO

TUTOR:

ING. CARLOS ALFREDO MALAVÉ CARRERA, MSc

LA LIBERTAD, ECUADOR

2026

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE PETRÓLEOS**

TEMA:

**“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN LA
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO EN LA REFINERÍA LA LIBERTAD”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORA:

JULEIDY JULIANA SUAREZ SORIANO

TUTOR:

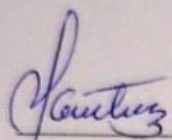
ING. CARLOS ALFREDO MALAVÉ CARRERA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2026

UPSE

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Marllelis Gutiérrez Hiestroza;

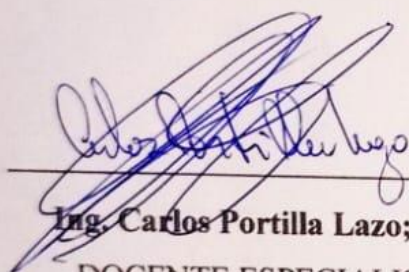
PhD

DIRECTOR DE CARRERA



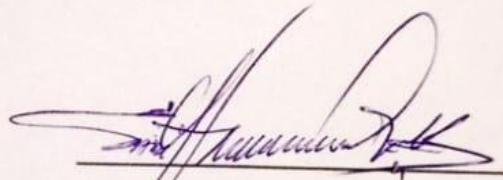
Ing. Carlos Malavé; Ms.c

DOCENTE TUTOR



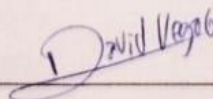
Ing. Carlos Portilla Lazo; Msc.

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Sadi Iturralde Kure; Msc

DOCENTE UIC



Ing. David Vega González

SECRETARIO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Mi más sincera gratitud a Dios, fuente de fortaleza, sabiduría y esperanza, por acompañarme en cada paso de este proceso académico. Gracias a su guía, pude mantener la fe, la paciencia y la determinación necesarias para alcanzar este logro que simboliza el esfuerzo de muchos años de dedicación y aprendizaje.

A mi familia, quienes han sido mi mayor soporte y motivo de superación por estar en mis momentos de frustración. A mis padres, por su amor inagotable, su sacrificio y sus palabras de aliento en los momentos más difíciles. A mis hermanos, por su cariño, comprensión y confianza en mí. Sin su apoyo constante, este sueño no habría sido posible. Cada uno de ellos ha dejado una huella imborrable en mi formación personal y profesional.

Deseo expresar un reconocimiento muy especial al Ing. Carlos Alfredo Malavé, quien no solo fue mi tutor de tesis, sino también mi tutor en la Unidad de Integración Curricular (UIC). Su compromiso, orientación y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Agradezco sinceramente su guía académica, su paciencia y los conocimientos compartidos, que fortalecieron mi proceso de aprendizaje y crecimiento.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por abrirme las puertas a la educación superior y brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en la Carrera de Petróleos. A cada docente que fue parte de este camino, gracias por su entrega, exigencia y ejemplo, que despertaron en mí el deseo de seguir aprendiendo y mejorar cada día.

Con mucho aprecio, agradezco también a mis compañeros de la UIC, quienes con su apoyo, compañerismo y palabras de ánimo hicieron más llevadero este camino. Compartir con ellos experiencias, retos y alegrías fue una parte esencial de esta etapa, que siempre recordaré con gratitud.

Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron para que este trabajo se hiciera realidad. Cada gesto de ayuda, cada consejo y cada muestra de confianza fueron una inspiración para seguir adelante. Este

logro no solo representa el cierre de una etapa universitaria, sino el inicio de nuevas metas y oportunidades que afronto con esperanza y compromiso.

Con profundo agradecimiento,

Juleidy Juliana Suárez Soriano

DEDICATORIA

Dedico este logro, principalmente, a **Dios**, por ser mi guía en cada paso, por fortalecerme en los momentos más difíciles y por iluminar mi camino con sabiduría y esperanza. Sin su presencia, nada de esto habría sido posible.

A mi madre, **Gildary Soriano** por su amor infinito, por enseñarme el valor del esfuerzo, la humildad y la perseverancia. Gracias por apoyarme en cada decisión, por impulsarme a seguir adelante y por creer en mí aun cuando las circunstancias fueron complicadas.

Este trabajo es el reflejo de su sacrificio y de todo lo que me han enseñado.

Dedico este trabajo a mi preciosa hija, **Ainhoa Aquino** por ser mi inspiración para seguir adelante, porque gracias a su presencia jamás me rendiré, gracias a tu llegada mi vida tuvo un propósito y es darte el futuro que te mereces, tu alegría me dio la fuerza que necesitaba para terminar este logro.

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mi pareja, **Dhayan Aquino** quien ha sido mi mayor apoyo y compañía a lo largo de este camino. Gracias por estar a mi lado en los momentos de cansancio, por creer en mí cuando dudaba, y por brindarme siempre una palabra de aliento cuando más lo necesitaba. Tu comprensión y amor me dieron la fuerza para continuar, incluso cuando las cosas parecían imposibles. Gracias por compartir conmigo cada logro, cada desvelo y cada paso de este proceso. Esta meta también es tuya, porque detrás de cada página y cada esfuerzo estuvo tu presencia constante, tu apoyo incondicional y tu fe en mí.

A quien me ha guiado como un padre, **Stalin Tomalá**, por su apoyo incondicional, sus consejos y su ejemplo de esfuerzo. Gracias por acompañarme con paciencia y cariño en este camino, por creer en mí y por brindarme siempre tu fortaleza y confianza.

A mis hermanos, **Darío, Kelly y Michael**, por su cariño, comprensión y palabras de aliento que me ayudaron a mantenerme firme y motivada. Gracias por ser parte esencial de mi vida y por acompañarme en cada etapa de este camino académico.

A mis suegros, **Maribell y William** por su cariño, apoyo y palabras de aliento en los momentos más importantes de mi vida. Gracias por acogerme con afecto y ser parte de esta meta alcanzada.

A mi padre, **Pedro Suarez**, aunque no estuviste presente en gran parte de mi vida, te dedico este logro sin rencor, con gratitud y serenidad. Gracias por ser parte de mi historia y por enseñarme, desde la distancia, que a pesar de todo se puede seguir adelante.

Y finalmente, me la dedico a mí misma, **Juleidy Juliana Suárez Soriano**, por no rendirme, por confiar en mis capacidades y por demostrarme que los sueños se cumplen con constancia, fe y determinación. Este logro representa que soy capaz de todo lo que me proponga en la vida con esfuerzo, amor y esperanza.

Juleidy Juliana Suárez Soriano

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA REFINERÍA LA LIBERTAD” elaborado por la estudiante **JULEIDY JULIANA SUAREZ SORIANO**, egresada de la carrera de Petróleos, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un **9%** de la valoración permitida.

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**
registro

TESIS JULEIDY SUÁREZ PARA COMPILATIO

9%
Textos sospechosos

9% Similitudes
< 1 % similitudes entre comillas
0 % entre las fuentes mencionadas

< 1% Idiomas no reconocidos

9% Textos potencialmente generados por IA (ignorado)

Nombre del documento: TESIS JULEIDY SUÁREZ PARA COMPILATIO.docx ID del documento: 391662461f12cdd01ea52f7cdf3e998a3af4d386 Tamaño del documento original: 250,36 KB	Depositante: CARLOS ALFREDO MALAVE CARRERA Fecha de depósito: 15/11/2025 Tipo de carga: interface Fecha de fin de análisis: 15/11/2025	Número de palabras: 11.973 Número de caracteres: 70.921
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Carlos Malavé Carrera

C.I.: 0912370095

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Juleidy Juliana Suárez Soriano, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA REFINERÍA LA LIBERTAD”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Petróleos, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Juleidy Juliana Suárez Soriano

Autora de Tesis

C.I. 2450524091

CERTIFICADO DEL GRAMATÓLOGO

Validación gramatical y ortográfica

CERTIFICO

Que, he realizado la revisión y corrección del Trabajo de Integración Curricular para la obtención del título de Ingeniera en Petróleos, con el tema: **"ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA REFINERÍA LA LIBERTAD"**. Ha sido desarrollado por la estudiante de la Carrera de Petróleos: **JULEIDY JULIANA SUAREZ SORIANO** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Que, el trabajo presenta un dominio formal del lenguaje, con expresión clara, coherencia discursiva y solidez interpretativa. Asimismo, garantizando su adecuación a los estándares académicos y formales requeridos.

Por lo expuesto, se expide el presente certificado para que los interesados lo utilicen ante las instancias que correspondan.

Atentamente,



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.
Magister en Educación Básica
Correo: misabelp1017@gmail.com
C.C: 0605353143
Celular: 0969917044

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo: "ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA REFINERÍA LA LIBERTAD", previo a la obtención del Título de Ingeniera en Petróleos, elaborado por la Sra. Juleidy Juliana Suárez Soriano, egresada de la Carrera de Petróleos, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc.

TUTOR

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	V
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	VII
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	viii
CERTIFICADO DEL GRAMATÓLOGO	ix
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	¡Error! Marcador no definido.
CONTENIDO	XI
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE TABLAS	XVI
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 HIPÓTESIS	9
1.4 OBJETIVOS.....	9
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específicos.....	9
1.5 ALCANCE.....	9

XI

1.6	VARIABLES.....	10
1.6.1	Variables dependientes	10
1.6.2	Variables independientes.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		11
2.1.	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	11
2.1.1.	Definición de emisiones de gases de efecto invernadero	11
2.1.2.	Escenario energético mundial.....	11
2.1.3	Estrategias de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	12
2.1.4.	Enfoques experimentales, perspectivas y expectativas en la detección de GEI	13
2.1.5.	Monitoreo y control de emisiones	13
2.1.5.	Cantidades de gases de efecto invernadero produce una refinería.....	14
2.1.6.	Refinerías	15
2.1.7.	Emisiones de GEI por categoría.....	16
2.1.8.	Transiciones energéticas	18
2.2.	Situación energética de Ecuador	19
2.2.1.	Energía renovable puede evitar las emisiones de carbono	20
2.2.2.	Energía solar	20
2.2.3	Radiación solar	21
a)	Espectro solar	21
b)	Unidades de medida de la radiación solar	22

c) Beneficios de la ubicación de La Libertad con relación al sol para implementar sistemas fotovoltaicos en el Ecuador	23
d) Ubicación ideal para sistemas fotovoltaicos en este sector	23
e) Beneficios de implementar sistemas fotovoltaicos en La Libertad.....	24
f) Dimensión de paneles solares fotovoltaicos	25
g) Características del sistema de paneles solares.....	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	30
3.1. Tipo de estudio.....	30
3.1.1. Investigación descriptiva	30
3.1.2. Investigación aplicada	30
3.1.3. Investigación explicativa	31
3.2. Población y muestra	31
3.2.1 Población	31
3.3. Criterios de selección	31
3.3.1. Criterios de inclusión	31
3.3.2. Criterios de exclusión.....	32
3.4. Técnica de análisis	32
3.4.1. Observación.....	32
3.5. Métodos	32
3.5.1. Método inductivo	32
3.5.2. Método deductivo.....	33
3.5.3. Método analítico.....	33

3.5.4. Método comparativo	33
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
4.1. ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD	34
4.2. CONSUMO DE ENERGÍA EN REFINERÍA LA LIBERTAD	37
4.3. PRODUCCIÓN DE CO ₂ MENSUAL EN REFINERÍA LA LIBERTAD (Producción de electricidad)	37
4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO	40
4.4.1. Viabilidad técnica y económica	41
1. Equipos y componentes del sistema fotovoltaico.....	41
2. Mano de obra y servicios técnicos:	42
4. Consideraciones adicionales	43
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
5.1 CONCLUSIONES	45
5.2 RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
6. ANEXOS.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de iniciativa de energía alternativa.....	5
Figura 2. Tipo de emisiones de contaminantes que produce una refinería.....	14
Figura 3. Proceso de refinación del crudo.	16
Figura 4. Emisiones de CO ₂ - Actividades de quema de combustibles	18
Figura 5. Rango de frecuencias e intensidad de radiación del espectro solar	22
Figura 6. Atlas solar del Ecuador con fines de producción de energía eléctrica.....	24
Figura 7. Paneles solares policristalinos.....	27
Figura 8. Paneles solares monocristalinos.....	28
Figura 9. Generador 2.....	35
Figura 10. Sector de dotación de energía eléctrica generador 2 – Refinería La Libertad	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Emisiones de GEI por categoría	17
Tabla 2. Analisis comparativo de módulos fotovoltaicos.....	26
Tabla 3. Analisis comparativos de paneles policristalinos vs. monocristalinos marca JA JAM	27
Tabla 4. Ficha técnica de módulos monocristalinos.....	28
Tabla 5. Reporte mensual del mes de octubre de generación y distribución de energía eléctrica 2025.....	34
Tabla 6. Reporte mensual consumo de combustible	34
Tabla 7. Reporte mensual consumo de combustible y generación de energía eléctrica.	34
Tabla 8. Reporte mensual consumo de combustible por generador de energía eléctrica	35
Tabla 9. Proyección de consumo en KW/h en próximos 5 años	37
Tabla 10. Proyección de CO2 en los próximos 5 años	39

**“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA
SOLAR EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO EN LA REFINERÍA LA LIBERTAD”**

Autor: Juleidy Juliana Suarez Soriano

Tutor: Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc

RESUMEN

Es importante establecer la viabilidad de la energía solar para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que las empresas utilizan combustibles fósiles como fuente para generar electricidad. En relación con esta problemática, la Refinería La Libertad se encuentra en el interior de una población, lo cual afecta a los ciudadanos debido al desarrollo de sus actividades; en particular, la quema de diésel para la producción de energía eléctrica, que genera emisiones de CO₂. Mediante un análisis de las actividades que realiza la Refinería La Libertad en el proceso de generación de energía, se determina que se consume 46.972 galones de diésel para un total de 592.044 KW/h al mes, lo que produce 5,35 toneladas métricas de CO₂, gases que son perjudiciales para la salud de los seres humanos, el medio ambiente. Bajo este criterio se analizó la implementación de paneles solares al sector del área administrativa y parte periférica de alumbrado de las instalaciones, la misma que es abastecida por el generador 2, tal como se evidencia en el desarrollo del trabajo. Además, la propuesta requiere una inversión total de \$48.000, lo cual confirma su viabilidad práctica. El proyecto resulta favorable para reducir la contaminación ambiental y, si bien inicialmente se implementaría en un sector específico, sentaría las bases para una aplicación progresiva y expansiva.

PALABRAS CLAVE: viabilidad, paneles solares, electricidad; gases, emisiones de efecto invernadero.

“FEASIBILITY ANALYSIS FOR THE IMPLEMENTATION OF SOLAR
ENERGY IN THE REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS
AT THE LA LIBERTAD REFINERY”

Autor: Juleidy Juliana Suarez Soriano

Tutor: Ing. Carlos Alfredo Malavé Carrera, MSc

ABSTRACT

It is important to establish the viability of solar energy for reducing greenhouse gas emissions, as companies currently use fossil fuels to generate electricity. Regarding this issue, the La Libertad Refinery is located within a populated area, which affects residents due to the refinery's activities; in particular, the burning of diesel for electricity production, which generates CO₂ emissions. An analysis of the La Libertad Refinery's energy generation activities determined that it consumes 46,972 gallons of diesel, totaling 592,044 kWh per month, which produces 5.35 metric tons of CO₂, gases that are harmful to human health and the environment. Based on this analysis, the implementation of solar panels was considered for the administrative area and the peripheral lighting of the facilities, which is currently powered by generator 2, as detailed in this report. Furthermore, the proposal requires a total investment of \$48,000, confirming its practical feasibility. The project is beneficial for reducing environmental pollution and, while initially implemented in a specific sector, it would lay the groundwork for a progressive and expansive application.

KEYWORDS: feasibility, solar panels, electricity; greenhouse gases, greenhouse gas emissions

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El petróleo como fuente de energía ha sido clave en el desarrollo de nuestra sociedad, sin embargo, no se puede obviar los múltiples y diversos impactos ambientales derivados de su uso que afectan al planeta y a nuestros ecosistemas de distintas maneras. No es casualidad que el uso del petróleo se considere uno de los principales responsables del cambio climático, aun cuando se conocían los efectos que esta actividad tendría con el paso del tiempo.

Es notorio que los impactos ambientales del petróleo se dividen en dos ámbitos. Por un lado, se encuentra el más básico, que corresponde a la extracción y procesamiento del crudo, incluso en condiciones seguras y controladas. Por otro lado, están los impactos derivados de accidentes y derrames (Asamblea Nacional, 2019).

La extracción y procesamiento de petróleo generan grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO₂), que contribuyen al cambio climático. La industria petrolera es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, y es necesario tomar medidas para reducir su impacto ambiental. La implementación de energía solar es una opción viable para reducir las emisiones de GEI en el campo petrolero, ya que puede generar electricidad de manera limpia y renovable, lo que mejora el desarrollo de las actividades en estas áreas de trabajo (García Sánchez, 2020).

Sin embargo, es necesario evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de energía solar en la Refinería La Libertad, debido a la serie de factores que afectan al medio ambiente y que deben ser minimizados a través de la aplicación de estrategias acordes al medio ambiente, así promueve la aplicación de energía renovable y sustentable que mejore la calidad de vida de los seres en el planeta tierra.

La crisis climática que se vive en la actualidad a nivel mundial genera situaciones de proporciones alarmantes que hacen que se replantee soluciones a mediano y largo plazo, para minimizar los gases de efecto invernadero que produce la actividad petrolera y con ello la afectación al medio ambiente.

El ser humano ha ejercido una actividad depredadora desde la Revolución Industrial (1760-1840), durante la cual no se hicieron caso a las medidas que se debían implementar para mitigar los daños que se hacían al medio ambiente y que hoy se sufre las consecuencias de la destrucción de la capa de ozono, las emisiones de gases de efecto invernadero, además de otras situaciones que dañan los ecosistemas y el medio ambiente (Acosta, 2020).

La crisis energética que sufre el país a causa de la falta de agua en las centrales hidroeléctricas ha puesto en evidencia que no se puede depender de las hidroeléctricas para el suministro de la energía, sin embargo, se debe ofertar una fuente de energía limpia, la misma que permita cuidar del medio ambiente, estableciendo acciones de cuidado para la vida de los seres. Por ello, se propone un análisis de viabilidad para la implementación de energía solar a través de paneles, los cuales ayudarán a mantener y a solventar la crisis eléctrica que vive el país.

Este estudio propone implementar el uso de paneles solares en la Refinería La Libertad, el mismo que permite disminuir los efectos de gases de efecto invernadero, los residuos que se generan en la producción de este combustible, los costos que se generan y promover una cultura ambientalista que permita mejorar la calidad de vida de las personas y así establecer mecanismos de protección de los ecosistemas y del hábitat para las futuras generaciones.

Es importante mencionar que en el 2011 los sistemas de energía solar en el mundo generaron 85 teravatios/hora de electricidad, cantidad suficiente para cubrir las necesidades de 100 millones de personas en el mundo entero. Europa, es la región líder, con una capacidad instalada de 51 GW, seguida por Japón (5 GW), EE. UU. (4,4 GW) y China (3,1 GW). Se menciona que España es líder en cuanto a la capacidad instalada de este sistema de obtención de energía (Bernal, 2018).

La energía solar fotovoltaica (ESFV) constituye una fuente de energía renovable, la cual puede usarse en la generación de electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) que convierten la radiación solar en electricidad, haciéndola aplicables a múltiples actividades de la vida cotidiana (Catalán, 2020).

Bajo este contexto, en la Refinería La Libertad se puede implementar como primera fase a la parte administrativa de este sector petrolero, con lo cual se disminuye el uso de

combustible fósil para la generación de energía, mejorando la parte técnica, económica y ambiental de la empresa.

Los problemas que ya se avizoran en un futuro cercano con el petróleo y otras fuentes de energía eléctrica no renovables o menos eficientes, es conveniente comenzar de forma gradual, pero con más fuerza a pensar en un uso masivo de los paneles solares aplicados a las empresas y entidades estatales e incluso el sector residencial, que al igual que ha recibido refrigeradores, bombillos, cocinas y utensilios para el ahorro de energía puedan recibir de manera ordenada paneles solares para su aplicación a las casas o edificios multifamiliares.

Actualmente, es hora de afrontar una realidad latente y carente de resultados positivos con el uso de la fuente de energía que hoy se utiliza, hay que ser previsibles y buscar alternativas de generar electricidad con el menor daño al medio ambiente posible. Ante lo expuesto, se plantea la siguiente interrogante de investigación: ¿De qué manera el análisis de viabilidad técnica, económica y ambiental para la implementación de energía solar afecta a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la Refinería La Libertad?

1.2 ANTECEDENTES

Investigaciones previas determinan que, si es posible instalar paneles solares en una empresa petrolera, ya que la energía solar puede ser utilizada en la industria para otras actividades. Por ejemplo, la energía solar puede ser utilizada para la recuperación mejorada de petróleo, reducir el consumo de energía eléctrica convencional, contribuir al cuidado del medio ambiente, etc.

Se establece que la industria petrolera de EE. UU., emite aproximadamente 196 millones de TM de CO₂, mientras que las emisiones de CO₂ del pozo a la puerta y del ciclo de vida completo fueron significativamente mayores, alcanzando 419 y 2843 millones de TM de CO₂, respectivamente. Este análisis examina las oportunidades de descarbonización para las refinerías de EE. UU., y el costo de lograr reducciones de emisiones de CO₂ tanto a nivel de refinería como a lo largo de todo el ciclo de vida (Araújo, 2024). En este contexto se plantea:

- Cambiar los insumos energéticos de la refinería de fuentes fósiles a renovables (p. ej., cambiar la fuente de hidrógeno).

- Captura y almacenamiento de carbono de CO₂ de varias unidades de refinación.
- Cambiar la materia prima de crudo de petróleo a biocrudo utilizando varios niveles de mezcla.
- Introducir paneles solares en áreas donde se utilice energía eléctrica dentro de las refinerías, con la finalidad de minimizar en parte las emisiones de CO₂.

En este contexto se menciona que las cuatro opciones pueden reducir las emisiones de CO₂ de las refinerías, solo la tercera puede reducir las emisiones a lo largo del ciclo de vida de los productos de la refinería, incluida la combustión de combustibles. Este estudio expresó que el costo promedio de evitación de CO₂ es de entre 113 y 477 dólares por tonelada de CO₂, o entre 54 y 227 de dólares por barril de crudo procesado; estos costos se deben principalmente al alto costo de la materia prima del biocrudo (Koleva, 2023).

Un estudio llevado a cabo en Irán, sector de Isfahán por (Mahboubeh, 2024) se aplicó un análisis técnico-económico exhaustivo y el diseño óptimo de un sistema híbrido de energía renovable (SREH) integrado con conexión a la red eléctrica, utilizando un caso práctico centrado en una refinería de petróleo. El estudio explora la viabilidad de incorporar fuentes de energía solar, eólica y de biomasa junto con la central eléctrica de ciclo combinado de gas natural (CCGN) existente y la conexión a la red eléctrica para satisfacer la considerable demanda energética de la refinería.

Al considerar parámetros técnicos y factores económicos, como los precios de compra de la energía, las tasas de inflación y las consideraciones ambientales, la investigación evalúa tres escenarios distintos que abarcan diversas combinaciones de la central eléctrica de CCGN, la conexión a la red eléctrica y las fuentes de energía renovables, proporcionando una evaluación integral de las estrategias de suministro energético.

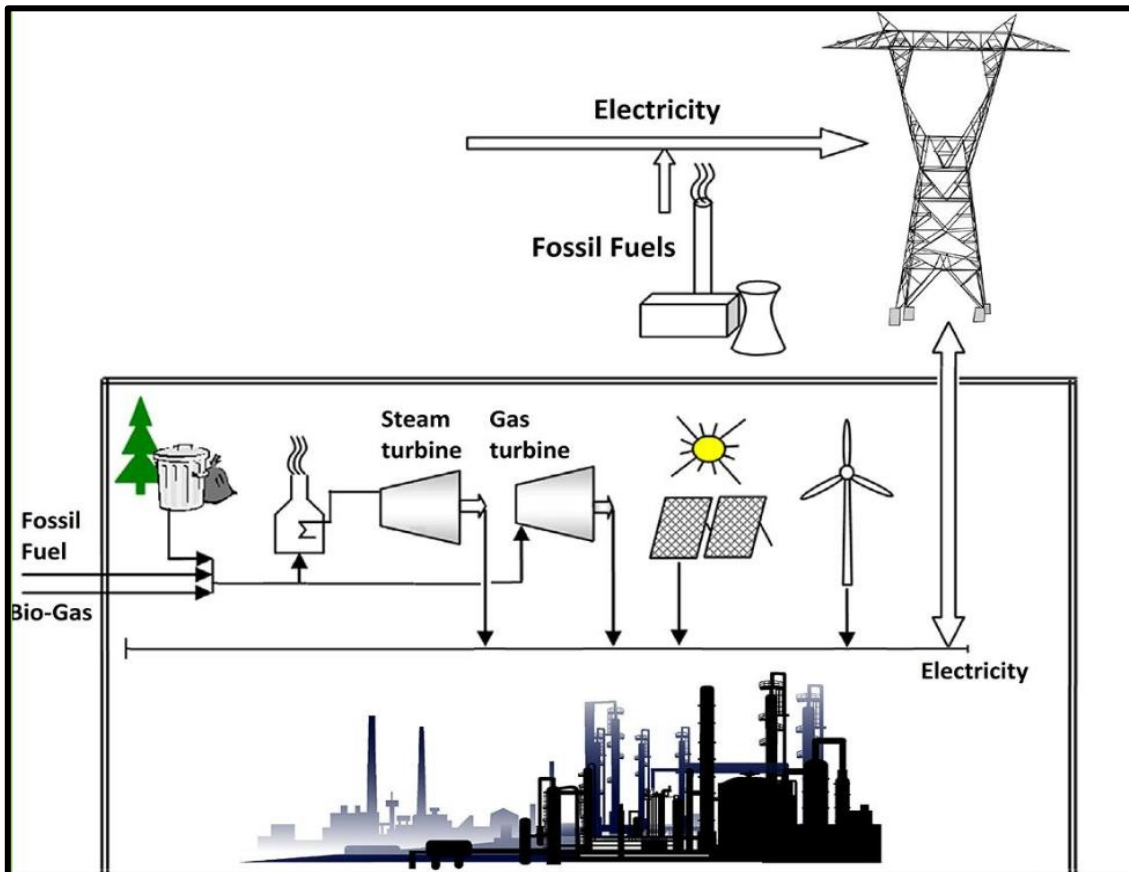
Los resultados revelan que la integración de fuentes de energía renovables, especialmente en un contexto de capacidad reducida de la red eléctrica, puede generar una reducción de aproximadamente el 44,6 % en las emisiones de dióxido de carbono y una reducción de 32 % en el coste neto actual, en comparación con el diseño base sin integración de energías renovables.

Esto mejora significativamente la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de la planta de refinería de petróleo, aportando información valiosa sobre la configuración

óptima de sistemas de energía híbridos para aplicaciones industriales a gran escala y abordando los desafíos de la seguridad energética, la rentabilidad y el impacto ambiental.

Figura 1.

Diagrama de iniciativa de energía alternativa.



Nota: Tomado y adaptado de (Bernal, 2018).

En España, el autor Guevara (2024) presentó su investigación en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, en la cual expone que, Ecuador es un país con limitadas opciones de generación de energía, ya que la prioridad histórica ha sido la creación de centrales hidroeléctricas debido a la abundancia de ríos a lo largo de su superficie. Sin embargo, el cambio climático y la irregularidad en las lluvias hacen necesario un análisis sobre la conveniencia de añadir otras fuentes de generación eléctrica para reducir la dependencia de la hidráulica y a su vez conseguir una transición energética hacia un modelo más sostenible.

Por ese motivo, este trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad económica del desarrollo de la generación renovable en Ecuador, donde se realizó una comparativa entre

el actual modelo de generación eléctrica renovable basado en energía hidráulica, y otros modelos como la integración de energía eólica y fotovoltaica (Guevara Aria, 2024).

En el caso de la energía fotovoltaica, se realizó un análisis de irradiación y temperatura en toda la geografía ecuatoriana con ayuda de “PVsyst”. En cuanto a la energía eólica, se utiliza el software “Openwind” para determinar los lugares apropiados para la instalación de parques eólicos, empleando datos como latitud y velocidad del viento, entre otros (Guevara Aria, 2024).

Por otro lado, el autor Coque-Torres (2024) en respuesta a la creciente preocupación por el calentamiento global debido a la liberación de gases de efecto invernadero, el sector industrial emerge como uno de los principales responsables de estas emisiones. Este trabajo busca comprender cómo la adopción de sistemas fotovoltaicos puede contribuir a la disminución de emisiones de CO₂ en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo). Utilizando la norma ISO 14064-1 como guía metodológica para determinar la huella de carbono.

Con este objetivo, se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, determinando que se requerirían 107 paneles solares con una capacidad de 316 [W]. Los resultados revelaron una reducción de emisiones anuales de 15.94 [tCO₂-eq], equivalente a 115 viajes en avión de Quito a Guayaquil. Esto considerando que el sistema fotovoltaico está diseñado para proporcionar la energía requerida para el horario de 08h00 a 18h00, que es el periodo de mayor demanda de energía eléctrica (Coque Torres, 2024).

En Colombia se presentó un trabajo de la autoría de Prieto & Rodríguez (2023), donde la creciente conciencia ambiental y la necesidad de adoptar prácticas sostenibles han llevado a la búsqueda de soluciones innovadoras en la industria petrolera, se centra en la implementación de una planta de energía solar en las salas eléctricas prefabricadas tipo contenedor, que son producidas por Thermochill. El objetivo principal es determinar la viabilidad técnica y financiera de integrar sistemas de energía solar fotovoltaica en las salas eléctricas (Prieto, 2023).

La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, de carácter descriptivo de corte transversal, los resultados demostraron que, al aprovechar los espacios no utilizados en las cubiertas de estas salas, se busca ofrecer a los clientes una solución integral que no solo optimice sus costos de energía a largo plazo, sino que también contribuya

significativamente a la reducción de la huella de carbono. Se concluye que representaría para el producto mejora operativa, así como un compromiso directo con la sostenibilidad, que lo convertiría en un diferenciador estratégico en el mercado (Prieto, 2023).

En Perú, el trabajo investigativo realizado por Rodríguez (2021) planteó como objetivo incrementar la eficiencia energética del área de conversión en la refinería, mediante la sustitución de vapor de alta presión, utilizado en el precalentamiento de agua de calderos y cuya producción genera altos costos por el consumo de combustibles y contaminación atmosférica, por una corriente caliente de LCO (Light Cyclic Oil) generada durante el proceso productivo del área en mención (p. 78).

Los resultados evidenciaron los análisis de los principales beneficios a obtenerse con la implementación de dicha propuesta. Se concluye que el incremento de la demanda o intensidad energética consumida en su proceso productivo, razón por la cual se ha puesto en marcha un conjunto de acciones orientadas a identificar oportunidades de mejora y de ahorro energético (Rodríguez, 2021).

Así mismo en Colombia se presentó un trabajo de Noboa (2020) el objetivo fue establecer una revisión sistemática sobre la viabilidad ambiental de la ejecución de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de la Finca Cardón del municipio Icononzo – Tolima. La metodología empleada fue cuantitativa, de campo y bibliográfica (pág. 117). Los principales resultados demostraron que la información sistemática (fuente primaria) de las variables dependientes e independientes establecieron la viabilidad ambiental de la implementación del proyecto, posteriormente se realizó salidas de campo al lugar donde se realizaron listas de chequeo, el acercamiento con los propietarios y el personal (p. 120).

Se concluye que el proyecto fotovoltaico es factible para los contextos requeridos como: iluminación solar, precipitación del lugar, el análisis financiero generado logra obtener que el ahorro por costo de electricidad no sea bastante para satisfacer la inversión, pero sin embargo suple las necesidades de la inestabilidad del servicio energético prestado por la Compañía Energética del Tolima (ENERTOLIMA) y a su vez contribuye con la conservación del medio (Noboa, 2020).

En Ecuador, el autor Guevara (2023) en su estudio investigativo tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de implementación de un sistema fotovoltaico para la planta de

tratamiento de aguas residuales de la parroquia Tarapoa, cantón Cuyabeno, considerando aspectos económicos y ambientales. La metodología fue de enfoque cuantitativo, de carácter correlacional. Los instrumentos usados para la recopilación de la información se la hicieron a través de una entrevista directa con el ingeniero a cargo del proyecto, conociendo los datos requeridos para establecer el consumo diario de energía. Para el análisis se utilizó la herramienta ArcGIS Pro para delimitar la zona factible de instalación de los paneles solares y evaluar la viabilidad económica que pudiera generarse a partir de su implementación (p. 143).

Los resultados demostraron que el consumo energético diario fue de 190776 W y se seleccionaron paneles solares monocristalinos de 450 Wp. Por sus resistencia y antecedentes de uso en plantas similares, donde es necesario utilizar 136 paneles solares, junto con componentes electrónicos como baterías, controlador de carga, inversor, protecciones y estructuras. Se concluye que la implementación de sistemas fotovoltaicos se considera viable y beneficiosa en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y promoción de energías renovables en la comunidad de Tarapoa (Guevara, 2023).

En la ESPOL, el autor Macias (2022) presentó su investigación, cuyo objetivo fue analizar la viabilidad de realizar el cambio de la fuente de energía de una camaronera abastecida por combustibles fósiles a energía fotovoltaica, realizando además la cuantificación de los gases de efecto invernadero que se mitigarían, en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂Eq) de una camaronera ubicada en el Morro provincia del Guayas. La metodología fue de carácter cuantitativo, transversal, descriptivo; donde la bibliografía fue la característica fundamental para la recopilación de la información. A su vez se utilizó la metodología del IPCC, para el cálculo de las emisiones mitigadas de CO₂, CH₄ y N₂O las cuales fueron convertidas a la medida de (CO₂Eq) (p. 69).

Los resultados demostraron que la mayoría de las camaroneras están ubicadas en lugares remotos, por lo tanto, emplean al diésel como fuente de energía para el bombeo del agua del estuario hacia las piscinas con la finalidad de compensar el volumen de agua por recambio para mantener la oxigenación. Se concluye que para el análisis de viabilidad económica se utilizó el valor actual neto (VAN) como criterio de decisión entre la

tecnología instalada y la propuesta, el cual se evidenció que la energía fotovoltaica es viable técnica y ambientalmente, pero no económicamente (Macias, 2022).

1.3 HIPÓTESIS

La implementación de energía solar en la Refinería La Libertad es técnicamente viable, económicamente rentable y ambientalmente sostenible, lo que permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética del campo petrolero.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de energía solar en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la Refinería La Libertad

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la factibilidad técnica de la implementación de sistemas de energía solar en el campo petrolero, considerando factores como la radiación solar, infraestructura existente y los requerimientos de energía.
- Analizar la viabilidad económica de la implementación de energía solar en la Refinería La Libertad, considerando factores como el costo de inversión, operación, mantenimiento y beneficios económicos esperados.
- Establecer el impacto ambiental de la implementación de energía solar en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la Refinería La Libertad, considerando factores como la reducción de emisiones de CO₂, la disminución de la contaminación del aire y la protección de la biodiversidad.
- Dimensionar un sistema fotovoltaico de acuerdo con la necesidad energética del área de estudio en la Refinería La Libertad.

1.5 ALCANCE

El alcance de la investigación abarcó múltiples dimensiones críticas para comprender y abordar los efectos de la contaminación de la actividad petrolera. Este estudio evaluó el impacto directo de la contaminación ambiental, sino también analizar las interacciones complejas entre aspectos técnicos, económicos y medioambientales para la implementación de paneles solares.

Además del análisis cuantitativo, se llevó a cabo un análisis cualitativo profundo para explorar las percepciones y respuestas de los actores clave frente a los cambios observados en la problemática existente.

El estudio también se enfocó en evaluar cómo estos cambios podrían afectar el medio ambiente. Se realizó un análisis de vulnerabilidad para identificar las áreas más susceptibles a los impactos contaminantes y se propuso estrategias de adaptación específicas y basadas en evidencia para mejorar la resiliencia de los habitantes del entorno.

Este estudio aspiró a contribuir significativamente al conocimiento científico sobre los impactos que genera esta actividad en los recursos naturales, así como informar, orientar, aplicar políticas y estrategias de adaptación que promuevan la sostenibilidad ambiental y socioeconómica en la zona estudiada.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variables dependientes

Variable dependiente (VD):

- Determinación de emisiones de gases de efecto invernadero.

1.6.2 Variables independientes

Variable independiente (VI):

- Implementación de energía solar.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

2.1.1. Definición de emisiones de gases de efecto invernadero

La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero se refiere a las acciones y medidas tomadas para disminuir la cantidad de estos gases liberados a la atmósfera, como parte de la lucha contra el cambio climático. Estas acciones pueden incluir la transición a energías renovables, el aumento de la eficiencia energética, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la gestión de residuos (Navarrete, 2020).

La mitigación implica modificaciones en las actividades cotidianas de las personas y en las actividades económicas, con el objetivo de lograr una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a fin de reducir o hacer menos severos los efectos del cambio climático. De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), las medidas de mitigación son aquellas políticas y tecnologías tendientes para limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar los sumideros (Márquez, 2022).

La Agencia Internacional de Energía Renovable, destaca que la energía renovable ha experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas. En 2020, la capacidad global de energía renovable instalada alcanzó los 2000, 799 GW, lo que representa el 72 % de la capacidad de energía eléctrica instalada a nivel mundial (IRENA, 2021). La energía renovable ha demostrado ser más económica que los combustibles fósiles en muchas regiones del mundo, lo que ha llevado a una mayor adopción de esta tecnología (Acosta, 2020).

2.1.2. Escenario energético mundial

Es necesario establecer cuáles son los objetivos principales de una "transición" que aleje de manera sistemática el uso de los combustibles fósiles y se dirija hacia la implementación de las energías renovables, porque a nivel mundial la crisis energética es insostenible, debido a múltiples factores que están deteriorando el planeta, lo que constituye en que se debe dar paso a nuevas alternativas de energía (Chatterjee, 2020).

Pero, la realidad es que los combustibles fósiles y/o contaminantes no desaparecerán ni comenzarán a disminuir en el corto plazo, sino se hace conciencia del daño irreparable que se hace a los ecosistemas, al medio ambiente, debido al consumo energético excesivo, a pesar de que la producción de energías renovables va en aumento, lo que genera grandes expectativas a mediano y largo plazo antes de que los cambios climáticos puedan causar daños masivos al planeta (Marquez, 2020).

A pesar de los esfuerzos que se llevan a cabo, el aumento en el consumo de las energías renovables aún está por debajo del aumento de la demanda energética mundial, lo que provoca que la industria en todo aspecto vaya renovando el consumo de energía convencional por otras alternativas que disminuya las emisiones de gases de efecto invernadero y de esta manera mejorar la calidad de vida en el planeta (Bernal, 2018).

2.1.3 Estrategias de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

En la actualidad a nivel empresarial mundial, las estrategias para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, se han abordado desde un contexto cualitativo o administrativo; cada país aplica medidas de prevención y protección del medio ambiente, de acuerdo a sus normativas legales, las cuales fueron adaptadas de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) han delineado métodos o resultados que los países industrializados deben observar para limitar su impacto climático (Kraan, 2020).

Es importante señalar que las estipulaciones de la CMNUCC establecen compromisos globales para que las naciones del mundo eviten un aumento de la temperatura global superior a 2 °C. Sin embargo, solo se especuló que el 60 % de este objetivo sería alcanzable bajo la dirección de los compromisos propuestos. No obstante, resulta esencial una mayor actuación por parte de los países industrializados, que son los principales consumidores de energía convencional (Jiao, 2021).

En este contexto, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), propone una revolución industrial verde, la misma que intensifica las aplicaciones de los recursos y el poder internacional para resolver las fallas climáticas,

lo que implica especialmente, transferencias de tecnología de sustitutos de bajas emisiones a los métodos actuales que conduzcan a la producción de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI). Las evaluaciones de las necesidades de tecnología (ENT), se definieron durante la séptima sesión de la Conferencia de las Partes (COP), y dos etapas principales están implicadas dentro de su marco (Bahmanpour, 2021).

Inicialmente, se deben realizar evaluaciones de la vulnerabilidad (ENT) para identificar las tecnologías o acciones que un país debe adoptar para obtener los beneficios del desarrollo sostenible y, al mismo tiempo, reducir la emisión de gases de efecto invernadero GEI a la atmósfera, por lo que estas innovaciones deben inculcarse como prácticas estándar y habituales que prevalezcan sobre las operaciones existentes en una región, lo que determina el cumplimiento de normativas internacionales sobre el uso de energía renovable (Norwood, 2021).

2.1.4. Enfoques experimentales, perspectivas y expectativas en la detección de GEI

Como se indica en el desarrollo de esta investigación, los contaminantes ambientales y los GEI que absorben IR son detectables utilizando enfoques a escala agregada, mientras que las mediciones locales que monitorean la acumulación regional de estas sustancias son poco prácticas y costosas, lo que conlleva a determinar las cantidades expuestas de estas sustancias. Los residuos y subproductos de las refinerías de petróleo son una peligrosa fuente de contaminación. Además de afectar la calidad del aire, también pueden contaminar el suelo y el agua, dañando así los ecosistemas y causando graves problemas ambientales (Green, 2020).

2.1.5. Monitoreo y control de emisiones

Para aliviar las implicaciones del efecto invernadero mejorado, los organismos gubernamentales y las organizaciones internacionales sobre el cambio climático abogan por la mitigación de los GEI mediante una remodelación integral de las costumbres en el consumo de energía, el cambio de combustible, los recursos renovables, la captura y el secuestro de carbono y la concienciación pública, entre otras estrategias (Alvarado, 2010).

En algunos países no se dispone de las herramientas para medir con exactitud los niveles atmosféricos de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de manera eficiente, precisa y económica. En la teoría convencional, aparte de su propulsión directa en la reconstrucción del clima, los GEI plantean riesgos indirectos y directos para la salud humana, los ecosistemas de la diversidad de vida silvestre, al propagar condiciones climáticas extremas o causar disminuciones en la calidad del aire (Koleva, 2023).

Los incendios forestales, las enfermedades respiratorias relacionadas con el calor o los contaminantes y las interrupciones en la producción de alimentos ocurren consecuentemente con las emisiones excesivas de GEI. Los compuestos gaseosos nocivos que representan riesgos para la salud humana incluyen GEI indirectos, como el hidrógeno (H_2), el dióxido de azufre (SO_2) y los NO_3 , y el GEI directo débil, el CO_2 (Bahmanpour, 2021).

Los métodos industriales actuales producen emisiones densas de estas y otras sustancias. Más pertinente para la revisión, los métodos originales deben adaptarse para evaluar las concentraciones de los GEI naturales directos, que incluyen el CO_2 , el CH_4 , el N_2O , el O_3 y el H_2O (v), así como de los PFC sintéticos, los HFC, los CFC y el SF_2 (Guevara, 2023).

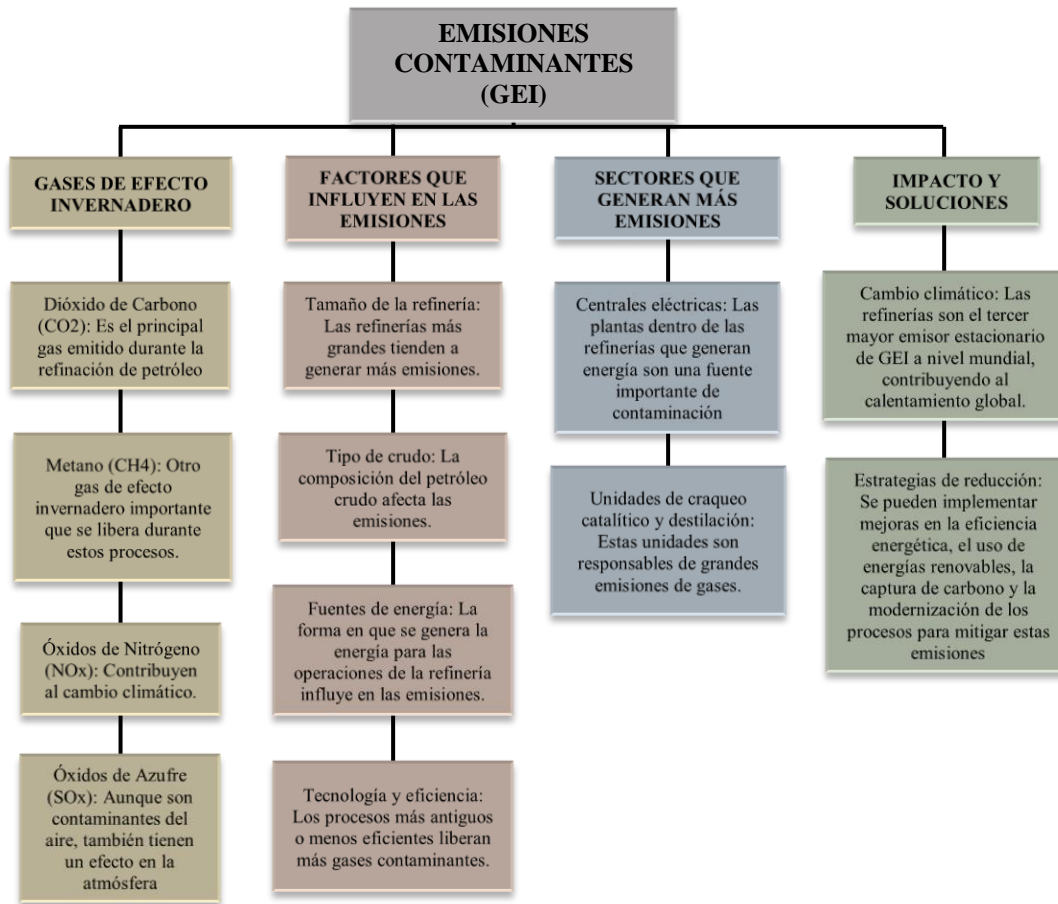
2.1.5. Cantidades de gases de efecto invernadero produce una refinería

Una refinería de petróleo puede generar una amplia variedad de gases de efecto invernadero (GEI), incluyendo dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxidos de nitrógeno (NO_x). La cantidad exacta de estos gases varía significativamente según factores como el tamaño de la refinería, el tipo de petróleo crudo que procesa, la energía que consume y la eficacia de sus procesos. Las refinerías son un importante emisor industrial de GEI a nivel mundial, ya que contribuyen a los gases que atrapan calor en la atmósfera y provocan el cambio climático (Mahboubeh, 2024).

El sector de refinerías de petróleo es el segundo sector mejor clasificado en términos de emisiones de GEI por instalación, con un promedio de 1,22 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MMT CO_2e), solo detrás del sector de centrales eléctricas (Bernal, 2018).

Figura 2.

Tipo de emisiones de contaminantes que produce una refinería.



Nota. Tomado y adaptado de (Araújo, 2024).

2.1.6. Refinerías

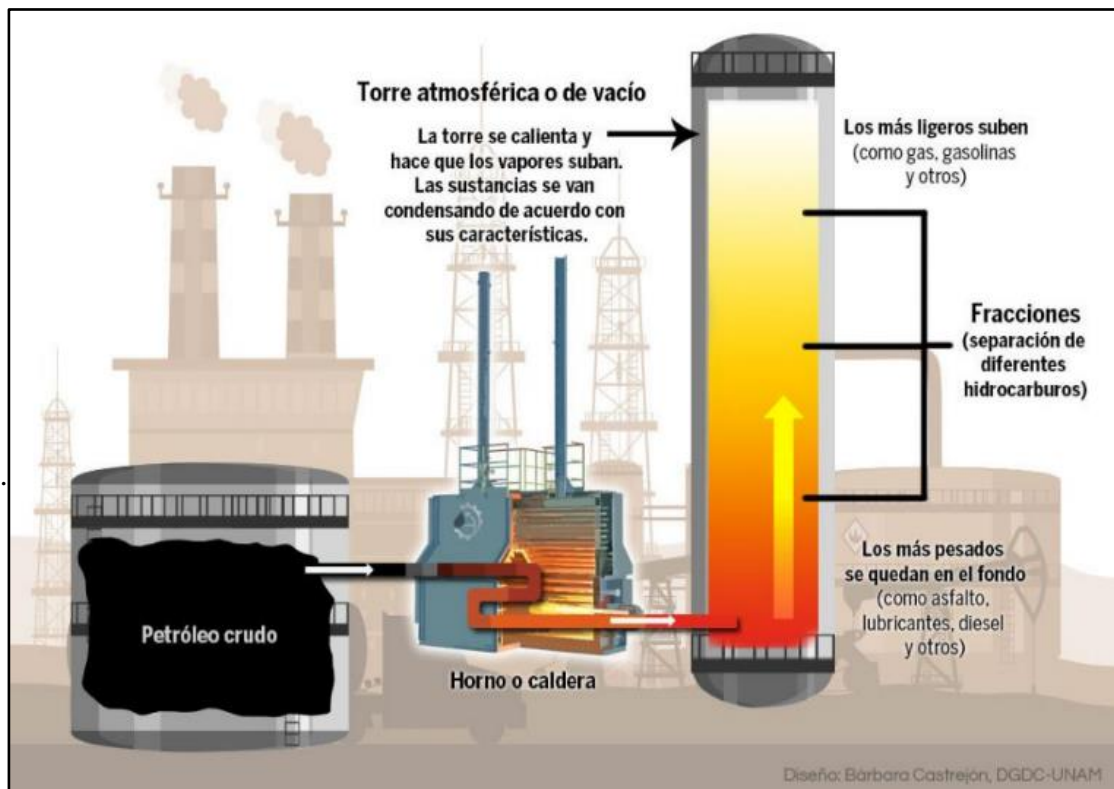
Son instalaciones de la industria petroquímica, producen compuestos hechos de petróleo crudo al convertir y refinar productos como gasolina, diésel, asfalto, queroseno, GLP, petróleo y combustible para eliminar las impurezas. También se producen productos petroquímicos como el etileno y el propileno. (El Financiero, 2019). El proceso se basa en dos columnas de destilación, una al vacío y otra a presión atmosférica, con múltiples salidas intermedias. El proceso de destilación química consiste en calentar dos o más sustancias con diferentes puntos de ebullición y separarlas en función de su volatilidad (Calderón, 2020).

Si hay más de dos componentes, se crean intermedios para obtener componentes adicionales. Cada una de estas corrientes tiene un proceso correspondiente donde los componentes adicionales se separan, combinan, reaccionan y el producto final se purifica,

todo este proceso crea una reacción en cadena y en cada parte existe la emisión de gases de efecto invernadero, en menor o mayor cantidad, la cual afecta a la vida de los seres en el planeta (PEMEX, 2020).

Figura 3

Proceso de refinación del crudo.



Nota. Tomado y Adaptado de (Calderón, 2020).

Las refinerías de petróleo emiten gases como dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, fluoruro de hidrógeno, dioxinas, cloro y otros contaminantes durante el procesamiento químico que contribuyen al smog y la contaminación del aire (Loyola, 2022)

2.1.7. Emisiones de GEI por categoría

Las emisiones de GEI del sector energía se dividen en dos grandes categorías, por un lado, se cuantifican las emisiones producidas a partir de la quema de combustibles (1A); de las emisiones fugitivas (1B) y del transporte y almacenamiento de dióxido de carbono (1C). A su vez, se presentan a modo informativo las emisiones de GEI correspondientes

a bunkers internacionales y emisiones de CO₂ provenientes de la quema de biomasa. De acuerdo con la metodología, dichas emisiones no se suman en los totales del sector energía, sino que se incluyen como partidas informativas. A continuación, se presentan los resultados de emisiones de GEI correspondientes al año 2019 y se realiza un análisis para cada una de las categorías (Drew, 2023).

Tabla 1.

Emisiones de GEI por categoría.

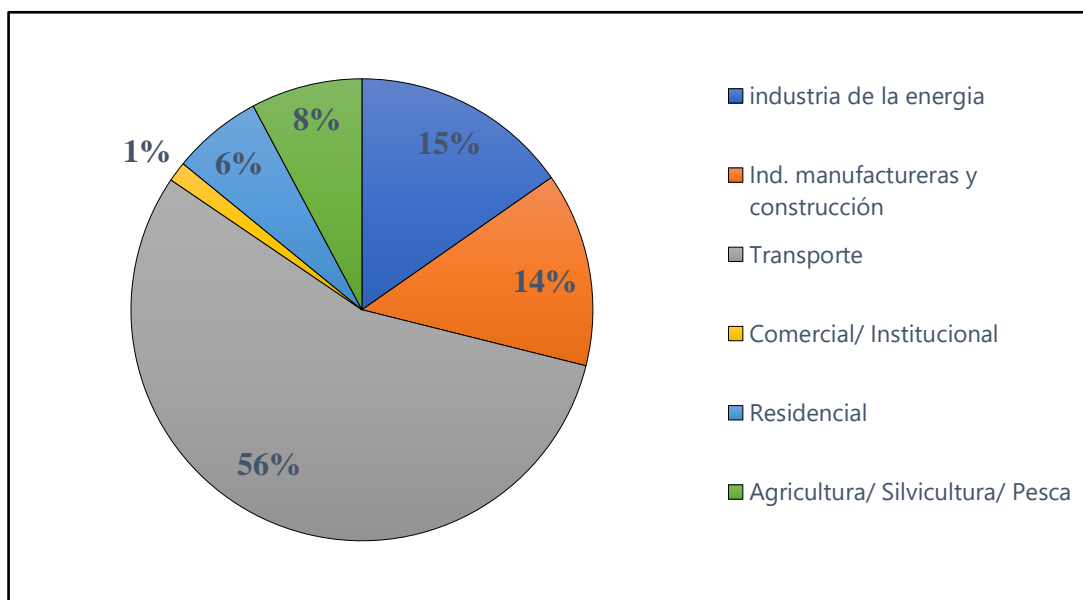
CATEGORÍAS	EMISIONES (Gg)						
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
I. Total Energía	6.199,6	5,1	0,6	50,8	610,0	56,7	28,5
1A Actividades de quema de combustibles	6.199,6	5,0	0,6	50,7	609,8	55,5	26,7
1A1 Industrias de la energía	948,7	4,4E-02	2,1E-02	0,9	0,5	0,2	4,3
1A1a Producción de electricidad y calor	544,8	3,3E-02	2,0E-02	0,2	0,4	0,2	3,1
1A1b Refinación del petróleo	403,9	1,1E-02	1,7E-03	0,7	7,2E-02	2,8E-02	1,2
1A1c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	NO OCURRE						
1A2 Industrias manufactureras y construcción	845,1	0,2	0,2	4,9	154,8	2,3	10,3
1A3 Transporte	3.447,2	0,6	0,2	33,8	308,4	42,8	5,1
1A3a Aviación civil	13,8	9,8E-05	3,9E-04	3,5E-02	2,5	5,8E-02	9,9E-4
1A3b Terrestre	3.386,6	0,6	0,2	32,8	305,6	42,7	4,9
1A3c Ferrocarriles	6,8	3,8E-04	2,6E-03	0,2	5,6E-02	1,2E-02	1,7E-2
1A3d Navegación marítima y fluvial	39,9	3,8E-03	1,1E-03	0,9	0,3	5,9E-02	1,3E-1
1A4 Otros sectores	957,7	4,2	0,2	11,1	146,2	10,1	7,1
1A4a Comercial/ Institucional	86,6	1,3E-02	7,2E-03	0,2	0,4	0,6	0,6
1A4b Residencial	388,6	3,7	5,1E-02	1,7	134,9	7,3	4,8
1A4c Agricultura/ Silvicultura/ Pesca	482,5	0,5	0,2	9,2	10,9	2,2	1,66
1A5 Otros (no especificados en otra parte)	0,87						
1B Emisiones fugitivas de los combustibles	3,7E-03	0,1		0,1	0,2	1,2	1,8
1B1 Combustibles sólidos	NO OCURRE						
1B2 Petróleo y gas natural	3,7E-03	1,2E-01		0,1	0,2	1,2	1,8
1B3 Otras emisiones provenientes de la generación de energía	NO OCURRE						
1C Transporte y Almacenamiento de dióxido de carbono	NO OCURRE						
PARTIDAS INFORMATIVAS							
Bunkers Internacionales	890,6	6,2E-02	2,5E-02	19,7	1,3	1,9	3,8
Transporte marítimo	647,9	2,1E-05	6,8E-03	1,0	0,9	7,2E-02	3,5E-02
Transporte aéreo	242,7	6,2E-02	1,8E-02	18,7	0,4	1,8	3,8
CO ₂ generado por la quema de biomasa	6.687,7						

Nota. Tomado y adaptado de (Lake, Enhanced Oil Recovery. Society of Petroleum Engineers., 2020).

Respecto a la quema de biomasa, las emisiones de CO₂ no se incluyen en los totales del sector energía, sin embargo, se presentan como partidas informativas desde el punto de vista de su utilización energética. En el año 2019, la quema de biomasa emitió 6.687,7 Gg de CO₂, lo que representa una suma importante dentro de este rubro, por lo tanto, se debe de producir cambios en la matriz de consumo de carburante.

Figura 4.

Emisiones de CO₂ - Actividades de quema de combustibles.



Nota. Tomado y adaptado de (Lake, Enhanced Oil Recovery. Society of Petroleum Engineers., 2020).

Dentro de las emisiones de CO₂ la mayor contribución a las emisiones fue debido a la quema de gasoil/diésel oíl, fundamentalmente en el sector transporte (1.810,0 Gg) seguido de las emisiones de vehículos todo terreno y otra maquinaria agrícola (376,3 Gg) y la generación de electricidad (213,4 Gg) con aportes menores de otras categorías.

2.1.8. Transiciones energéticas

El mundo está en constante cambio, ya sea por causas naturales o antropogénicas y, en ocasiones, estos cambios representan desafíos relevantes para la humanidad. Entre todas las adversidades a las que se enfrenta la sociedad en la vida cotidiana, el cambio climático plantea desafíos globales sin precedentes para las generaciones actuales y futuras (Loyola, 2022).

La evidencia científica apunta al uso de la energía fósil como la principal causa antropogénica del cambio climático. La combustión de hidrocarburos es uno de los principales contribuyentes de las emisiones de gases de efecto invernadero, más allá de

lo que la naturaleza puede absorber. El rápido aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera resulta en un calentamiento global que, como resultado, puede tener un impacto catastrófico en el planeta (García, 2021).

2.2. Situación energética de Ecuador

La situación energética del Ecuador atravesó una grave crisis a finales del 2024, debido a una grave sequía que afectó a las centrales hidroeléctricas, las cuales proveen más del 75 % de la electricidad del país. Esto provocó apagones generalizados en todo el país un aumento en el precio de la energía y un déficit energético significativo, impactando negativamente la economía y los servicios públicos, por el desabastecimiento progresivo a causa de la sequía (Fierro, 2024).

Esto evidenció la grave situación que vive el país al depender de centrales hidroeléctricas y no dar paso a la implementación de nuevas energías renovables y la expansión de la generación térmica, el sector enfrenta desafíos de inversión, mantenimiento y planificación, lo que generó una desestabilización económica, la misma que tuvo como parte de la solución el comprar energía a Colombia. Esto permite que se promueva a que la industria ecuatoriana pueda tener facilidades para tener su propia central, lo que aliviaría al estado a mejorar la situación de los ciudadanos a tener una mejor calidad de vida (BCE., 2025).

Según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), el 58,3 % de la energía eléctrica en Ecuador proviene de fuentes hidroeléctricas, seguido de la generación térmica con un 41,7 % (Catalán, 2020). A pesar de que, Ecuador es uno de los mayores productores de petróleo de América Latina, la explotación de este recurso no se refleja en la generación de energía, ya que solo representa el 1,6 % de la matriz energética del país, por lo que se quiere cambiar esta situación y expandir su parque eléctrico a otras áreas de energía limpia como es la fotovoltaica, eólica y resurgir la generación de energía térmica, lo que beneficia a la industria, porque ya no dependería del estado, sino que podría generar su propia energía para el desarrollo de sus actividades (BCE., 2025).

2.2.1. Energía renovable puede evitar las emisiones de carbono

De acuerdo con el autor Sheng (2020) en su artículo titulado "Cómo la energía renovable puede evitar las emisiones de carbono", alude que, las fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, pueden ayudar a evitar las emisiones de carbono al proporcionar una alternativa a los combustibles fósiles, lo que permite tener una mejor alternativa de obtener energía pero sin contaminar el medio ambiente, evitando además una reducción del efecto invernadero que ocasiona deterioro de la capa de ozono del planeta (Denchak, 2023).

La energía fotovoltaica es una de las fuentes de energía renovable más utilizadas en todo el mundo, esta puede generar electricidad a partir de la luz solar, la energía fotovoltaica no produce emisiones de gases de efecto invernadero, lo que la convierte en una alternativa limpia y sostenible a las fuentes de energía tradicionales basadas en combustibles fósiles, esto permite que el proceso de obtención de energía sea rentable porque los equipos pueden almacenar energía en días en que no haya la luz solar (Breeze, 2022).

Según el informe de la Agencia Internacional de Energía Renovable, la energía fotovoltaica es capaz de reducir las emisiones de CO₂ en un 90 % en comparación con la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles. Además, la tecnología fotovoltaica está experimentando una importante reducción de costos, lo que la hace cada vez más competitiva en comparación con las fuentes de energía convencionales (IRENA, 2021).

2.2.2. Energía solar

Es la que recibimos del sol a través de la radiación electromagnética, es limpia y abundante, la cual la podemos aprovechar a través de la tecnología. Es sin duda la fuente más importante en la tierra (Srivastava, 2021). Como se ha mencionado la energía solar llega a la tierra en forma de ondas electromagnéticas:

- Radiación ultravioleta (9 %).
- Luz visible (39 %).

- Radiación infrarroja (52 %).

La energía solar es ampliamente aprovechada actualmente mediante diversas tecnologías y para distintos fines. Cada vez es más común la instalación de paneles fotovoltaicos en casas para su propio consumo, o la instalación de centrales fotovoltaicas como el proyecto solar el aramo con una extensión de casi 3 kilómetros cuadrados, el mismo que va a añadir al sistema eléctrico nacional 258 MW, con esto se va a multiplicar la potencia instalada asociada a sistemas fotovoltaicos en nuestro país (Kumar, 2021).

2.2.3 Radiación solar

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol que se propaga a una velocidad de 300000 km/s, pudiéndose observar aspectos ondulatorios y corpusculares. También se puede definir a la radiación solar como el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre (Garrido, 2020).

Estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que recibimos están entre los rangos de longitud de onda de 0.4 (μm) y 0.7 (μm), y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta (Kumar, 2021).

a) Espectro solar

A pesar de la compleja estructura del sol para el aprovechamiento de su energía se puede adoptar un modelo mucho más simplificado. Así, se considera el sol como un cuerpo negro que radia energía a la temperatura de 5780 °K, ya que su distribución espectral es muy similar a la de dicho cuerpo negro para el rango de longitudes de onda típico de los procesos y foto térmicos (Kumar, 2021).

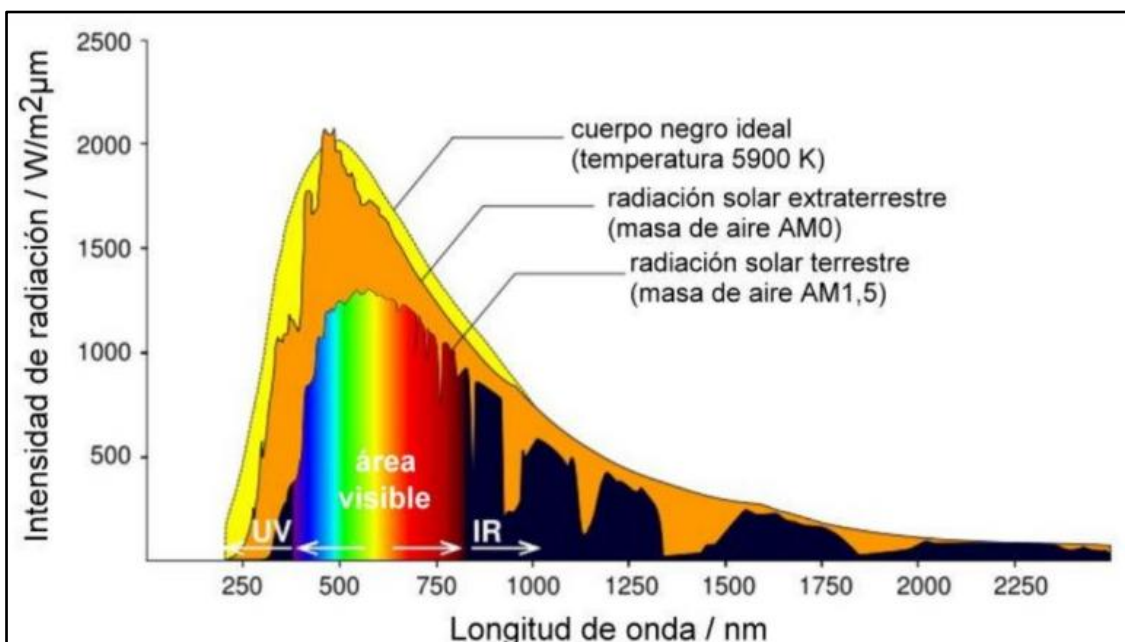
La luz visible, ya sea de origen solar, o generada por un foco incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas que está contenida dentro de un determinado rango de frecuencias, al que se lo denomina espectro visible. La

intensidad de la radiación luminosa varía con la frecuencia, por lo que hace necesario establecer conocer estos valores de la mejor manera (Živanović, 2020).

En la siguiente imagen se visualiza el espectro de la luz solar con los rangos de frecuencia y la intensidad de radiación que abarca:

Figura 5.

Rango de frecuencias e intensidad de radiación del espectro solar.



Nota. Tomado y adaptado de (Srivastava, 2021).

b) Unidades de medida de la radiación solar

Las cantidades de radiación son expresadas generalmente en términos de exposición radiante o irradiancia, siendo esta última una medida del flujo de energía recibida por unidad de área en forma instantánea como energía/área/tiempo y cuya unidad es el watt por metro cuadrado (W/m^2). Un watt es igual a un joule por segundo (Sampaio, 2020).

La exposición radiante es la medida de la radiación solar, en la cual la radiación es integrada en el tiempo como energía/área y cuya unidad es el kWh/m^2 por día (si es integrada en el día) ó MJ/m^2 por día. Por ejemplo, 1 minuto de exposición radiante es una medida de la energía recibida por metro cuadrado sobre un periodo de tiempo (Sampaio, 2020).

c) Beneficios de la ubicación de La Libertad con relación al sol para implementar sistemas fotovoltaicos en el Ecuador

El Ecuador se encuentra ubicada en una zona privilegiada, con un alto potencial de irradiación solar y numerosas horas de sol al año, lo que favorece enormemente la implementación de sistemas fotovoltaicos en La Libertad, Santa Elena, superando a otras regiones del país, por lo que puede generar energía y almacenamiento con los equipos adecuados (Garrido, 2020).

Estos factores relevantes permiten tener una alta exposición solar, para recaudar una generación significativa de energía, haciendo que los sistemas fotovoltaicos sean económicamente atractivos, sostenibles, durables, y que reduzcan la dependencia de combustibles fósiles y la factura eléctrica, que en la mayoría de los casos se vuelve insostenible económicamente lo que en muchos casos se dependa de las centrales hidroeléctricas que están sujetas al estiaje en ciertas estaciones del año, lo que perjudica sustancialmente la economía del país (Drew, 2023).

d) Ubicación ideal para sistemas fotovoltaicos en este sector

Ecuador es uno de los pocos países del mundo que se encuentra en una zona privilegiada, la que le permite tener la mayor cantidad de luz solar y aprovecharla para diversos fines, como la implementación de paneles solares (Drew, 2023), entre las principales ventajas, se detalla:

- **Ubicación geográfica:** Ecuador está en la zona intertropical, lo que le otorga una gran ventaja por la alta cantidad de radiación solar recibida en comparación con otras latitudes.
- **Altas horas de sol:** la región y el país en general disfrutan de más de 2.000 horas de sol al año en algunas zonas, lo que se traduce en una producción constante y eficiente de energía solar.
- **Potencial de energía solar:** el país tiene un potencial fotovoltaico muy elevado, estimado en más de 15 GW, lo que demuestra la viabilidad de aprovechar esta fuente de energía.

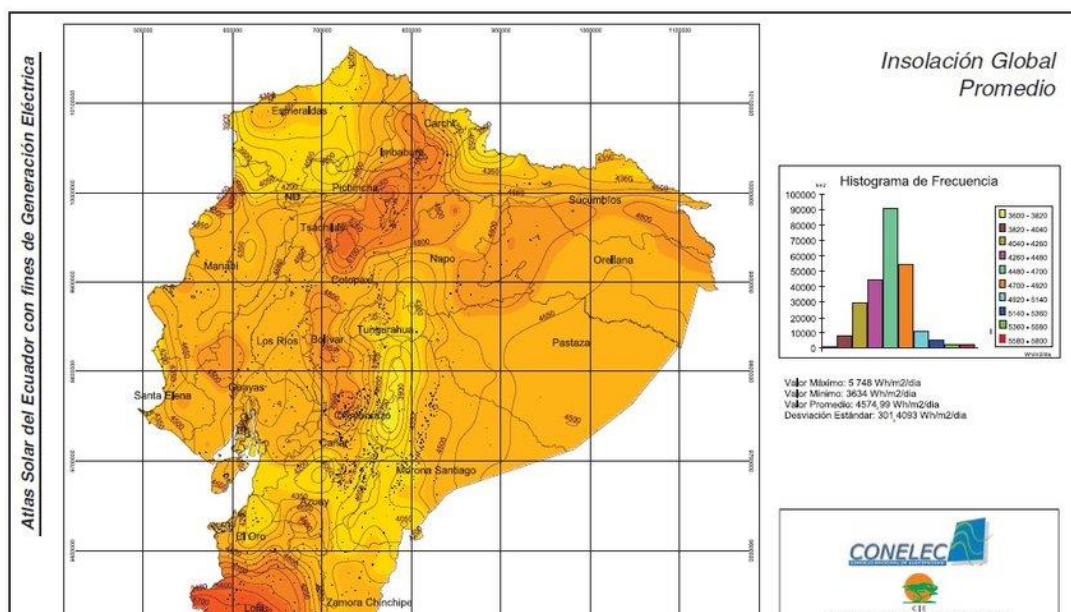
e) Beneficios de implementar sistemas fotovoltaicos en La Libertad

Con estos antecedentes se menciona los siguientes beneficios:

- **Reducción de costos energéticos:** al generar tu propia electricidad a partir de una fuente gratuita, disminuyes la dependencia de la red eléctrica y las facturas de luz.
- **Sostenibilidad ambiental:** se contribuye a reducir la huella de carbono al reemplazar combustibles fósiles por una fuente de energía limpia, renovable e inagotable.
- **Autonomía energética:** tiene la capacidad de generar su propia electricidad, lo que te da mayor seguridad energética y le permite ser menos dependiente de la red eléctrica convencional.
- **Impacto económico y social:** la generación de energía solar impulsa la creación de empleos locales y fomenta la innovación tecnológica en el país.

Figura 6.

Atlas solar del Ecuador con fines de producción de energía eléctrica.



Nota. Tomado y adaptado de (IGM, 2023).

En este contexto, La Libertad, por su favorable ubicación y alta exposición solar, es un lugar idóneo para instalar sistemas fotovoltaicos, aprovechando así una fuente de energía limpia, gratuita y abundante.

f) Dimensión de paneles solares fotovoltaicos

El sistema de paneles fotovoltaico tiene como función principal captar la energía solar y convertirla en corriente eléctrica directa (DC); está formado por un conjunto de células solares asociadas entre ellas en serie y paralelo. Los módulos fotovoltaicos están contruidos basados en materiales semiconductores, principalmente silicio, capaces de transformar parte de la energía solar incidente por el sol en energía eléctrica para garantizar su uso, además de permitir guardar aquella que no se utiliza en baterías especiales (Guevara, 2023).

El principio de funcionamiento viene descrito por el efecto fotovoltaico, que se define como la liberación de electrones de valencia del material semiconductor, ligados débilmente al núcleo de los átomos, al recibir la energía de los fotones procedentes de la radiación solar que incide. Esto les permite a los electrones circular fácilmente por el material y producir electricidad, además de optimizar o tener listo los equipos (Živanović, 2020).

Se debe considerar aspectos técnicos importantes que marcan la diferencia entre los distintos módulos fotovoltaicos en relación con su comportamiento frente a la temperatura. Cuando se especifica que un módulo fotovoltaico es de 400 Wp, significa que bajo condiciones estándar de pruebas (STC - Standard Test Conditions) el módulo es

capaz de generar 400 W de potencia. Las STC están definidas en las características técnicas de cada fabricante, las mismas que vienen con la garantía para su uso y mantenimiento (Cifuentes, 2023).

Para este proyecto investigativo, se plantea la utilización de módulos solares fotovoltaicos de mercado, en Ecuador existe una amplia gama de marcas, referencias y tecnologías de conformidad con la oferta mundial y con la apertura dada por las autoridades gubernamentales a través de incentivos para que se pueda invertir en nuevas fuentes de energía renovable, limpia y así aliviar la crisis energética que se ocasiona por el estiaje de las centrales hidroeléctricas que producen energía para el país (Chatterjee, 2020).

Tabla 2.

Análisis comparativo de módulos fotovoltaicos.

CARACTERÍSTICAS	POLICRISTALINO	MONOCRISTALINO
Potencia pico (w)	400	400
Corriente máxima potencia (A)	1.111	1.16
Voltaje a la máxima potencia (V)	18	17.2
Voltaje de circuito abierto (V)	22.50	21.50
Corriente de corto circuito (A)	1.202	1.25
Peso (Kg)	1.9	2.2
Dimensiones (mm)	1048*2108*40	996*2015*40
Voltaje del sistema (VDC)	750	1000 V

Nota. Tomado y adaptado de (Cifuentes, 2023).

Para conocer el rendimiento de un panel solar, se tiene en cuenta la relación entre la potencia útil (P_u), es decir, la máxima potencia que puede aportar el panel teóricamente y la potencia absorbida (P_a) que es la que recibe realmente. Para verificar esta aseveración, se lo analiza con la siguiente fórmula:

$$n = 100 \left(\frac{P_u}{G * A} \right)$$

Donde:

P_{max} : potencia máxima del módulo.

G : radiación estándar de 1000 W/m².

A: área del módulo en metros cuadrados.

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 2, es posible determinar que:

$$n = 100 \left(\frac{400w}{1,048m * 2,108m * \frac{1000w}{m^2}} \right) = 18,1 \% \text{ módulo policristalino}$$

$$n = 100 \left(\frac{400w}{0,996m * 2,015m * \frac{1000w}{m^2}} \right) = 19,93 \% \text{ módulo monocristalino}$$

Como se puede visualizar, existe una variación marcada en el rendimiento del panel monocristalino, que es de 19.93 % sobre el del policristalino es de 18.11 %, para una potencia de 400 w.

Por lo que, se realizó cotizaciones a diferentes empresas nacionales que venden paneles solares, a quienes se les hizo conocer la finalidad del detalle, en la selección de la marca, características técnicas del producto y de otros factores relevantes para el proyecto, donde se recomendó la marca “JA Solar”, teniendo en cuenta el respaldo que tiene, además, se encuentra dentro de las 10 mejores marcas sobre paneles solares, donde se evalúan criterios, como, potencia nominal, eficiencia, tecnología, garantías, entre otros (Energy, 2025).

Tabla 3.

Análisis comparativos de paneles policristalinos vs. monocristalinos marca JA JAM.

Comparación Sistema fotovoltaico considerando un sistema de 10 kWp (29 módulos x Wp)	Potencia pico (kWp)	Producción media CA (kWh)	Coefficiente de rendimiento
Usando módulos fotovoltaicos Mono Cristalinos JA JAM 60S10 345 W	10	14.090	78.4
Utilizando módulos fotovoltaicos Policristalinos JA JAP72S09 345 W	10	13.400	74.6

Nota. Tomado y Adaptado de (Cifuentes, 2023).

Figura 7.

Paneles solares policristalinos.



Nota. Tomado y adaptado de (Cifuentes, 2023).

Figura 8.

Paneles solares monocristalinos.



Nota. Tomado y adaptado de (Cifuentes, 2023).

Con este análisis se establece que los módulos monocristalinos arrojan un 5,15 % más de producción de energía durante el año, cifra relevante teniendo en cuenta la vida útil del proyecto (20 a 25 años), lo que permite tener una ventaja sobre los generadores de energía eléctrica a diésel, porque conlleva a la eliminación del CO₂, además de ofrecer energía limpia y renovable.

Este incremento de generación eléctrica justifica la mayor inversión inicial y la utilización de la tecnología de módulos monocristalinos para disminuir la generación de CO₂ al interior de las instalaciones de la Refinería La Libertad, lo que disminuye el costo en el funcionamiento de los generadores a diésel.

Tabla 4.

Ficha técnica de módulos monocristalinos.

Tipo	Singlecrystalline (sc-Si)
Nº total de células	144

Longitud (mm)	2015
Anchura (mm)	996
V _{co} (V)	49.58
V _{mpp} (V)	41.33
I _{sc} (A)	10.33
I _{mpp} (A)	9.68
NOCT (°C)	45
Coef. potencia (%/°C)	-0.35
Coef. corriente (%/°C)	0.044
Coef. Voltaje (%/°C)	-0.272

Nota. Tomado y adaptado de (Cifuentes, 2023).

g) Características del sistema de paneles solares

- Los módulos fotovoltaicos tienen una potencia nominal de 400 Wp.
- Tolerancia positiva 0/+ 5W.
- Garantía de rendimiento lineal: mínimo 97.5 % de la potencia máxima inicial, un 91.2 % después de 10 años y al menos 84.2 % de la potencia nominal después de 20 años.
- Los módulos fotovoltaicos serán del tipo 144 (6 x 24) células partida y unas dimensiones aproximadas de 2015 x 996 x 40 mm.
- Compatibilidad con sistemas de CC de 1500 V.
- Eficiencia del módulo en condiciones STC. Más del 19.7 % de eficiencia para el módulo.
- Fill factor, cuyo coeficiente es de 0.79.
- Temperatura: los módulos fotovoltaicos funcionan a temperaturas extremas (de -40 °C a +85 °C)
- Los módulos fotovoltaicos operan correctamente entre el 15 % y el 95 % de humedad.
- Porcentaje de pérdida de potencia: no supera el 0.35 % por grado Celsius (°C) en STC.
- El diseño de la célula fotovoltaica y la calidad del módulo están certificados internacionalmente, de acuerdo con las normas IEC relevantes.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio

Este trabajo investigativo se consideró de tipo documental bibliográfico, ya que se utilizaron procesos y técnicas de búsqueda, con la finalidad de analizar, sintetizar y organizar la información seleccionada, con la finalidad de elaborar una matriz y en base a ello realizar un análisis e interpretación correspondiente (Bohorquez, 2021).

Para la realización de este inventario respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero se utilizó la metodología propuesta por las Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de GEI, la misma que permite cuantificarlas de manera directa (Samaniego, 2020).

3.1.1. Investigación descriptiva

Es una investigación descriptiva ya que se observaron distintos datos, como la irradiación global horizontal, difusa y temperatura de diferentes fuentes, para evitar el menor error posible; para observar y describir el potencial solar fotovoltaico del cantón La Libertad, específicamente en la refinaría La Libertad y así poder calcular la energía capaz de generar en dicha zona de emplazamiento (Briceño, 2022).

Es de evidenciar los valores necesarios para determinar los distintos componentes de la instalación fotovoltaica conectada a la planta de energía. Además, se determinó el consumo de energía eléctrica del sector seleccionado para conectarlo a la red del sistema fotovoltaico, además de conocer el valor de ahorro anual (Barragán, 2022).

3.1.2. Investigación aplicada

Este proyecto de investigación aplicó los fundamentos teóricos de la ingeniería eléctrica y la energía solar para proponer una solución al problema identificado en la zona de estudio.

3.1.3. Investigación explicativa

Este proyecto facilitó el análisis y la interpretación de cada dato recopilado durante el proceso de cálculo, con el objetivo de comprender el comportamiento del sistema en su conjunto. De esta manera, se pudo evaluar si el sistema propuesto realmente resuelve el problema planteado. Además, se identificó la causa principal del problema, que es la generación de energía eléctrica, pero enfocándose en hacerlo de una forma que no cause contaminación ambiental, ni contribuya a la emisión de gases de efecto invernadero (Chatterjee, 2020).

3.2. Población y muestra

3.2.1 Población

Se define como población al conjunto de elementos que comparten las características sujetas a estudio, con base a lo anterior como población se consideraron todas las investigaciones que cumplieron con los criterios de selección. Por otro lado, la muestra hace referencia a un subgrupo o subconjunto del cual se recolectan los datos necesarios para el estudio y en esta revisión sistemática quedó constituida por 10 artículos, seleccionados de distintas bases de datos revisadas del 2020 al 2025 (Lake, Enhanced Oil Recovery. Prentice Hall, 1920).

Además, se destaca que se tomó como muestra referencial de la Refinería La Libertad, el generador 2, el cual es el que abastece de energía eléctrica del sector que se quiere remplazar por los paneles fotovoltaicos.

3.3. Criterios de selección

3.3.1. Criterios de inclusión

- Artículos científicos que aborden análisis de viabilidad para la implementación de energía solar en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en refinerías.
- Artículos científicos con acceso a texto completo.

- Artículos científicos que presenten metodología de implementación de paneles de sistemas fotovoltaicos.
- Artículos científicos publicados en el periodo 2020 al 2025.

3.3.2. Criterios de exclusión

- Artículos científicos que no presenten acceso al texto completo.
- Investigaciones publicadas en otras modalidades, como libros, tesis de grado, conferencias, ponencias, memorias en extenso.
- Artículos científicos publicado antes del 2020

3.4. Técnica de análisis

3.4.1. Observación

Este tipo de técnica es utilizada en la mayor parte del proyecto de investigación, debido a que se centró en observar los datos como la temperatura, la irradiación global horizontal, velocidad del viento, horas solares pico, para seguir con la investigación y poder sacar los datos que brindarán los resultados que se pueden verificar si el sistema es beneficioso para poder ejecutarse o no. También se debió tener en cuenta los datos del consumo eléctrico de la refinería y cómo la demanda va a ser cubierta por el sistema fotovoltaico (Fernández, 2020).

Adicionalmente, esta técnica permitió observar los parámetros característicos de los paneles e inversores a utilizar para poder aprovechar al máximo este sistema y así minimizar el grado de contaminación del medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero.

3.5. Métodos

3.5.1. Método inductivo

Se empleó este método porque se llevó a cabo un estudio basado en la observación y análisis de diversos datos provenientes de múltiples fuentes. A partir de esta información, se realizó un dimensionamiento del sistema utilizando un software de simulación. Esto permitió experimentar con diferentes opciones, como la configuración de los paneles y la

cantidad de inversores a seleccionar, para así poder llegar a conclusiones fundamentadas a partir de los resultados obtenidos (Martínez, 2020).

3.5.2. Método deductivo

Se utilizó este método debido a que, para abordar los problemas asociados con las energías convencionales, es necesario utilizar energías renovables que permitan reducir la contaminación. Por ello, se optó por sistemas fotovoltaicos, los cuales requieren de radiación solar para su funcionamiento, en este lugar la radiación es alta y durante un periodo de tiempo considerable, entonces es muy favorable instalar un sistema fotovoltaico y en este caso conectado a la red (Arteaga, 2020).

3.5.3. Método analítico

Este método se emplea porque el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red requiere un enfoque estructurado. En primer lugar, es esencial analizar cada componente individualmente para determinar sus características eléctricas. Posteriormente, una vez integrados todos los elementos, el sistema podrá suministrar la energía eléctrica necesaria y previamente calculada (Martínez, 2020).

3.5.4. Método comparativo

Se empleó este método debido a que, con base en lo investigado, ha sido posible comprender la realidad específica de ciertas localidades. En este contexto, se podrían considerar otros tipos de sistemas para su instalación, lo cual permite establecer comparaciones entre los sistemas conectados a la red y los sistemas autónomos (Arteaga, 2020).

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD

Es importante señalar que en la Refinería La Libertad funcionan 5 generadores, las cuales distribuyen energía a toda la planta industrial, la cual tiene un consumo de energía eléctrica y de combustible tal como se detalla en las siguientes tablas:

Tabla 5.

Reporte mensual del mes de octubre de generación y distribución de energía eléctrica 2025.

GENERADORES SDMO	LECTURAS		KW/H GENERADOS
	Anterior	Actual	
Generador 1	21.597.350	21.597.350	-
Generador 2	23.751.070	23.756.538	5.468
Generador 3	25.015.880	25.379.027	363.147
Generador 4	7.889.806	7.889.806	-
Generador 5	31.884.720	32.108.149	223.429

Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

Tabla 6.

Reporte mensual consumo de combustible.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE (DIESEL)			
	Anterior	Actual	
Combustible	11.459.433	11.506.405	46.972

Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

Tabla 7.

Reporte mensual consumo de combustible y generación de energía eléctrica.

Consumo de combustible	46.972 galones
Total generación eléctrica	592.044 KW/h

Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

Es importante mencionar que los consumos son variables, de acuerdo con una serie de factores tanto internos y externos.

Tabla 8.

Reporte mensual consumo de combustible por generador de energía eléctrica.

GENERADORES SDMO	KW/H GENERADOS	COMBUSTIBLE (DIESEL) CONSUMIDOS
Generador 1	-	-
Generador 2	5.468	433,82 galones
Generador 3	363.147	28.811,62 galones
Generador 4	-	-
Generador 5	223.429	17.726,56 galones
TOTAL	592.044	46.972,00 galones

Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

Se menciona que se trabajó con las cifras del **generador 2**, debido a que éste distribuye energía eléctrica a la sección administrativa y al perímetro de la refinería.

Figura 9.

Generador 2.



Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

La Refinería La Libertad posee 5 turbinas Rushton marca TA-1500 la cual poseen las siguientes características:

Marca RUSTON-HORNDBY.

Modelo MARK TA – 1500.

Potencia 1050 B HP.

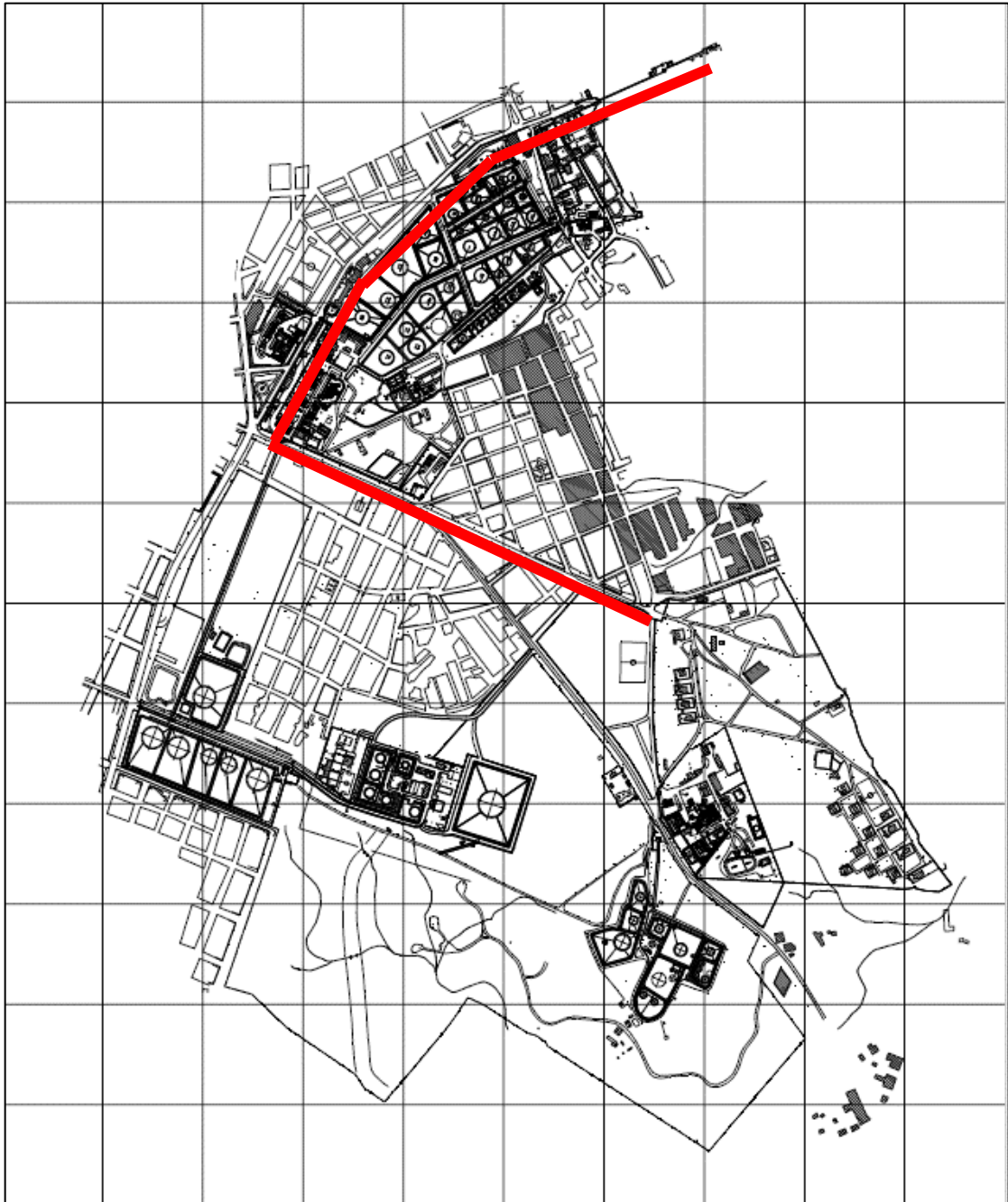
Tipo CICLO ABIERTO.

Horas operación: 410240 horas aproximadamente.

Frecuencia 50 Hz.

Figura 10.

Sector de dotación de energía eléctrica generador 2 – Refinería La Libertad.



Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

Nota. La Refinería La Libertad se abastece de energía eléctrica a través de 5 generadores, los cuales están distribuidos de manera que toda el área sea cubierta y así no haya problemas para su funcionamiento.

4.2. CONSUMO DE ENERGÍA EN REFINERÍA LA LIBERTAD

Para establecer consumos a futuro de energía eléctrica, se tomó los valores de años anteriores y sobre esta base se realizaron proyecciones, para cuantificar la relación costo beneficio de esta investigación y así determinar qué tan beneficioso es este trabajo, sobre cuanto CO₂ se deja de producir, colocando paneles solares y que beneficios ahorra con relación a lo económico.

Tabla 9.

Proyección de consumo en KW/h en próximos 5 años.

PROYECCIÓN DE CONSUMO EN KW EN PRÓXIMOS 5 AÑOS					
Consumo KW	2026	2027	2028	2029	2030
Enero	4.270,00	5.608,63	4.648,96	5.618,79	5.368,61
Febrero	4.417,00	6.838,28	6.876,28	6.855,18	6.778,88
Marzo	5.190,00	5.808,27	5.808,27	5.808,27	5.808,71
Abril	5.439,00	5.772,66	5.559,66	5.991,66	5.776,66
Mayo	6.650,00	6.888,93	6.313,93	6.913,93	6.013,93
Junio	4.630,00	5.781,38	5.871,33	4.751,38	5.745,38
Julio	4.127,00	5.746,67	5.746,67	5.746,67	5.746,67
Agosto	4.770,00	5.732,28	5.777,28	5.722,28	5.782,28
Septiembre	5.002,50	5.002,50	5.002,50	5.002,50	5.602,50
Octubre	6.131,22	5.371,22	5.587,22	6.331,22	6.278,22
Noviembre	4.902,95	4.892,57	4.992,95	4.977,95	4.889,95
Diciembre	5.307,22	5.773,22	5.387,22	5.377,22	5.355,22
TOTAL	60.836,89	69.216,61	67.572,27	69.097,05	69.147,01

Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

De acuerdo con lo estipulado en la tabla 9 se observa la producción de KW/h de electricidad durante los próximos y eso da la pauta para deducir la cantidad de combustible (diésel) que se consume y lo que esto ocasiona en la producción del volumen de CO₂ que se dejaría de producir durante los próximos 5 años introduciendo paneles solares como fuente de energía eléctrica, pero solo se visualiza el área que corresponde al sector del generador 2.

4.3. PRODUCCIÓN DE CO₂ MENSUAL EN REFINERÍA LA LIBERTAD (Producción de electricidad)

Es de mencionar que en la Refinería La Libertad se genera mensualmente 592.044 KW/h de energía eléctrica, con un gasto de 46.972,00 galones de diésel, que, de acuerdo con cálculos internacionales, se puede conocer la cantidad de CO₂ que se produce en estas instalaciones.

La quema de 46.972 galones de diésel produce aproximadamente 170.500 kilogramos de CO₂. Para obtener este resultado, se utiliza la cifra de 12,360 gramos de CO₂ por galón de diésel, se convierte a kilogramos y luego se multiplica por el número total de galones.

Conversión de galones a litros:

Primero, se convierte los galones a litros.

1 galón estadounidense \approx 3,785 litros.

46.972 galones X 3,785 litros/galón = 178.083 litros.

Cálculo de las emisiones de CO₂:

Usando la cifra de 12,360 gramos de CO₂ por galón (que proviene del Department of Energy de EE. UU), que es equivalente a 12,360 kg/galón.

46.972 galones x 12,360 kg/galón = 580.320 kg de CO₂.

Cálculo de las emisiones de CO₂ (usando la cifra de (2,7 kg/litro):

178.083 litro x 2,7 kg/litro = 480.824 kg de CO₂.

178.083 kilogramos de CO₂ equivalen a 178, 08 toneladas métricas, ya que se debe dividir la cantidad en kilogramos entre 1000.

Nota. Las cifras de emisión de CO₂ por litro de diésel pueden variar ligeramente según la fuente y la composición exacta del combustible. En este caso, se utilizó la cifra de 12,360 gramos por galón (aproximadamente 12,360 kg/galón del Department of Energy de EE. UU).

Pero como solo se toma los valores del generador 2, que genera mensualmente 5.468 KW/h de energía eléctrica, con un consumo de 433,82 galones de diésel, de acuerdo con cálculos internacionales, esto produce la cantidad de CO₂.

Conversión de galones a gramos:

Se multiplica la cantidad de galones por la emisión de CO₂ por galón.

$$433 \text{ galones} \times 12.360 \frac{\text{g CO}_2}{\text{galón}} = 5.351,880 \text{ gr. CO}_2.$$

Conversión de gramos a kilogramos.

$$5.351,880 \text{ gr.} / 1000 = 5.351,88 \text{ Kg CO}_2.$$

Conversión de kilogramos a toneladas métricas.

$$5.351,88 \text{ kg.} / 1000 = 5,35 \text{ toneladas métricas de CO}_2.$$

En este proceso se estaría dejando de producir 5,35 toneladas métricas de CO₂ al mes, valores que se evitaría de estar contaminando el medio ambiente.

Con estos valores obtenidos del **generador 2**, se puede realizar una proyección a futuro sobre aproximadamente 5 años, los cuales emite la pauta de que si el trabajo que se realiza resulta beneficioso o no de implementarlo y cuales son las ventajas que se obtienen mediante su aplicación.

Tabla 10.

Proyección de CO₂ en los próximos 5 años.

PROYECCION DE CO₂ EN LOS PROXIMOS 5 AÑOS					
	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo KW	60.836,89	69.216,61	67.572,27	69.097,05	69.147,01
Consumo Diesel	4.826,71	5.491,55	5.361,09	5.482,07	5.486,03
Generación de CO₂	43.78 TM. CO ₂	56,09 TM. CO ₂	54,74 TM. CO ₂	55,97 TM. CO ₂	56,01 TM. CO ₂

Nota. Tomado y adaptado de Refinería La Libertad – 2025.

De acuerdo con la información registrada en la tabla 10, se realizó una proyección del consumo de energía eléctrica para un período de cinco años. Esta proyección se basó en el análisis del consumo histórico del **generador 2** durante los meses anteriores. A partir de estos datos pasados, se pudo estimar la cantidad de combustible que se utilizaría cada año en el futuro. Esto permitió calcular de manera anticipada los niveles de emisiones de CO₂ que se generarían únicamente en esta área específica de la Refinería La Libertad, facilitando así una mejor comprensión del impacto ambiental esperado.

De acuerdo con lo expresado, durante los últimos cinco años se ha logrado reducir un total de 266.59 toneladas métricas de CO₂. Esta cifra muestra claramente la importancia del problema que enfrentamos al tener una empresa operando dentro de la ciudad. Por eso, es necesario abordar la contaminación de manera gradual y continua, para así encontrar una solución efectiva a mediano plazo. Además, es fundamental empezar poco a poco a realizar programas de restauración en las áreas que han sido afectadas.

Basándonos en la información recopilada, se concluye que el proyecto es viable porque trae varios beneficios importantes. En primer lugar, ayuda a disminuir los efectos de la contaminación, lo cual es positivo para el medio ambiente y la salud. Además, promueve el uso de energías limpias, que también contribuyen a reducir la contaminación. En contraste, favorece una mejor calidad de vida para las personas, ya que un ambiente más limpio y saludable mejora el bienestar general.

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para evaluar el aspecto financiero y económico relacionado con la implementación de este proceso investigativo, es necesario examinar los costos asociados a la infraestructura de los kits de paneles solares de 500 kW. Estos kits son los adecuados para reemplazar la generación eléctrica que actualmente se realiza mediante un generador que utiliza combustible fósil (diésel). Esta transición permitirá reducir los impactos negativos en la salud de las personas y otros seres vivos.

Para evaluar este proyecto, se utiliza indicadores económicos bien conocidos como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). Estos indicadores permiten analizar si la propuesta de inversión es viable, mostrando cuáles son sus beneficios,

cuánto tiempo tardaría en recuperarse lo invertido y otros aspectos financieros importantes que se deben considerar para tomar una decisión informada sobre el gasto necesario

4.4.1. Viabilidad técnica y económica

Presupuesto para la instalación de un sistema fotovoltaico.

1. Equipos y componentes del sistema fotovoltaico

- Paneles solares fotovoltaicos (10 kWp): \$20.000.

Este presupuesto contempla la adquisición de paneles solares diseñados específicamente para abastecer la demanda energética de la empresa, con una capacidad instalada de 10 kWp. Se elige equipamiento que destaca por su alta eficiencia energética y larga vida útil, garantizando un rendimiento óptimo y sostenibilidad a largo plazo.

- Inversores (4 unidades): \$7.000.

Los inversores son dispositivos esenciales que transforman la electricidad en corriente continua (CC), producida por los paneles solares, en corriente alterna (CA). Esta corriente alterna es necesaria porque es la que utiliza la red eléctrica de las compañías, permitiendo así que la energía generada se pueda usar o compartir fácilmente.

- Estructura de montaje (soportes y estructuras metálicas): \$4.000.

El sistema de montaje consiste en las estructuras de metal que se utilizan para sujetar los paneles solares en el techo de la empresa, garantizando que estén firmes y puedan resistir el paso del tiempo.

- Cables y conectores (material eléctrico): \$3.000.

Este presupuesto incluye los cables, conectores y demás componentes eléctricos necesarios para garantizar la interconexión adecuada de todos los elementos que conforman el sistema fotovoltaico.

- **Subtotal equipos y componentes: \$34.000.**

2. Mano de obra y servicios técnicos:

- Instalación del sistema fotovoltaico (mano de obra): \$7.000.

El costo de la mano de obra contempla el trabajo necesario para instalar los paneles solares, los inversores, la estructura que los sostiene y el cableado eléctrico. Además, incluye el proceso para conectar todo el sistema a la red eléctrica de la compañía.

- Estudio de viabilidad y diseño del sistema: \$2.500.

Este costo abarca los análisis técnicos preliminares, así como la organización y el diseño del sistema solar fotovoltaico, con el fin de garantizar que se ajuste correctamente a las demandas de energía de la empresa, en el área seleccionada para disminuir la generación de CO₂.

- Permisos y trámites administrativos: \$2.500.

Para instalar un sistema fotovoltaico, es fundamental obtener ciertos permisos y licencias. Esto implica primero solicitar el permiso para conectar el sistema a la red eléctrica. Además, es necesario contar con las certificaciones que exigen las autoridades locales para asegurar que la instalación cumpla con todas las normas y regulaciones.

- **Subtotal mano de obra y servicios técnicos: \$12.000.**

3. Mantenimiento y soporte post/instalación:

- Mantenimiento anual del sistema fotovoltaico (primer año): \$2.000.

Este precio incluye el mantenimiento preventivo del sistema fotovoltaico durante el primer año. Esto significa que se realizarán revisiones periódicas para inspeccionar, limpiar y verificar el estado tanto de los paneles solares como de los inversores, asegurando que todo funcione correctamente.

- **Presupuesto Total: \$48.000.**

Resumen del presupuesto:

Equipos y componentes del sistema fotovoltaico: \$34.000.

Mano de obra y servicios técnicos: \$12.000.

Mantenimiento y soporte post / instalación: \$2.000.

TOTAL: \$48.000.

4. Consideraciones adicionales

- **Costos operativos y ahorro energético:**

El sistema fotovoltaico ayuda a la empresa a producir su propia electricidad sin depender de una fuente externa. Esto puede resultar en una reducción importante del costo mensual en la cuenta de electricidad. La cantidad de ahorro varía según la cantidad de energía que use la empresa y la cantidad de luz solar disponible en su área.

- **Financiamiento y retorno de la inversión (ROI):**

Esta instalación de un sistema fotovoltaico requiere una inversión inicial de \$48,000, la cual se puede cubrir a través de recursos propios de la Refinería La Libertad. El beneficio económico, calculado como el retorno de la inversión (ROI), se obtiene principalmente al reducir los gastos en energía eléctrica. Normalmente, este ahorro comienza a observarse ya marcando una diferencia significativa durante los primeros años después de haber instalado el sistema.

Este presupuesto incluye los elementos técnicos fundamentales para instalar un sistema fotovoltaico; sin embargo, es importante hacer un estudio más profundo que permita analizar los beneficios y costos a largo plazo. Además, este análisis ayudará a dimensionar el sistema de manera adecuada, de acuerdo con las necesidades particulares de la empresa.

Para confirmar que la instalación de un sistema fotovoltaico en la Refinería La Libertad es factible tanto desde el punto de vista técnico como económico, es fundamental llevar a cabo un estudio exhaustivo que considere los siguientes factores.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El diseño de un sistema fotovoltaico para la Refinería La Libertad ha demostrado ser viable tanto en aspectos ambientales, técnicos como económicos. Desde el punto de vista técnico, la cantidad promedio de luz solar producida por los paneles es adecuada para generar electricidad, lo que permite implementar un sistema solar que pueda cubrir parte de la demanda energética de la empresa, específicamente la que se genera a través del generador 2. Además, se han seleccionado equipos de alta calidad, como paneles solares de gran eficiencia e inversores apropiados, lo que garantiza que el sistema funcione de manera estable y confiable durante mucho tiempo.

El análisis del estado del arte permitió comprender los avances y las metodologías más frecuentes en la implementación de sistemas solares a nivel global y local. Diferentes investigaciones previas evidencian que la utilización de la energía solar como una fuente sostenible y económica resulta una alternativa efectiva para su aplicación en empresas del sector petrolero, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂. Además, se identificaron las técnicas más eficientes y los factores clave que afectan el rendimiento de estos sistemas, información fundamental para llevar a cabo la ejecución exitosa del proyecto en la empresa.

El análisis técnico realizado confirmó la viabilidad de implementar un sistema de energía solar, dado que su diseño se adapta adecuadamente a los requerimientos específicos de la empresa. Considerando la ubicación geográfica en La Libertad y la demanda energética de la empresa, el sistema solar propuesto es capaz de generar una cantidad de energía que supera el 100 % del consumo anual del generador 2 de la Refinería La Libertad, lo que resultará en una reducción significativa de los costos energéticos, además de la emisión de CO₂.

El análisis financiero demostró que invertir en un sistema solar es económicamente viable, con un período de recuperación de la inversión estimado en aproximadamente 22.8 años. Este estudio consideró los costos iniciales, el ahorro anual generado por el consumo reducido de electricidad y los beneficios a largo plazo. Además, al incorporar aspectos como la disminución de gastos operativos y el impacto positivo en el medio ambiente, se concluye que esta opción representa una alternativa favorable para la empresa (Refinería La Libertad).

5.2 RECOMENDACIONES

Antes de instalar el sistema solar, es importante asegurarse de que todo esté en orden para que funcione bien y aproveche al máximo la energía. Por eso, aunque se sabe que la instalación es técnicamente posible y económicamente conveniente, primero se tiene que revisar detalladamente el lugar donde se va a colocar, ya sea en el techo, módulos o en el suelo. Así se confirma que no haya obstáculos o problemas que puedan afectar el rendimiento y mantenimiento del sistema, garantizando que todo esté listo para aprovechar al máximo la energía solar.

El complejo de la Refinería La Libertad debería adoptar tecnologías avanzadas y eficientes, como paneles solares de alta eficiencia e inversores capaces de adaptarse a variaciones en la radiación solar, con el fin de maximizar la generación energética y optimizar los costos operativos. Asimismo, es fundamental mantenerse actualizado con las innovaciones y tendencias emergentes en energías renovables, garantizando que el sistema implementado mantenga su rendimiento óptimo y relevancia tecnológica a lo largo del tiempo.

Antes de proceder con la instalación del sistema fotovoltaico en la Refinería La Libertad, es esencial realizar una evaluación final del lugar para confirmar que el diseño técnico se ajuste adecuadamente a las condiciones específicas del entorno, tales como la pendiente del techo o del terreno y la irradiancia solar característica de la región. Asimismo, resulta crucial llevar a cabo un monitoreo constante del rendimiento del sistema tras su puesta en marcha, con el fin de asegurar su funcionamiento eficiente y mantener su óptimo desempeño a lo largo del tiempo.

Es recomendable que a los directivos de la Refinería La Libertad, se le presente diversas opciones para obtener recursos económicos, a pesar de que puede asumir inversión con recursos propios de la empresa y mejorar el retorno de la inversión. Además, es fundamental realizar un seguimiento constante del rendimiento del sistema fotovoltaico para garantizar que el ahorro en el consumo energético se mantenga a lo largo del tiempo y detectar cualquier falla para corregirla rápidamente y eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. (2020). Potencial de energías renovables en el Ecuador. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, (34), 97-108., 101.
- Acosta, J. (2020). Potencial de energías renovables en el Ecuador. . *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 37.
- Alvarado, M. (2010). *Enhanced Oil Recovery: Field Planning and Development Strategies*. Gulf Professional Publishing.
- Araújo, C. (2024). Electrificación y descarbonización: una revisión crítica de sectores, políticas y objetivos de desarrollo sostenible interconectados. Almacenamiento y ahorro de energía 2023. *Bioresource Technology 2024* , 414 , 131623., 77.
- Asamblea Nacional, d. E. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética*. En *Registro Oficial*. Obtenido de <https://www.sni.gob.ec/wp>.
- Bahmanpour, A. (2021). Avances recientes en la producción de gas de síntesis mediante la reacción de hidrogenación catalítica de CO₂. *Appl . Catal. B Environ.* 295 , 120319 (2021)., 674.
- Barragán, B. (2022). Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial. *Universidad Carlos III de Madrid, España*, 99.
- BCE. (19 de enero de 2025). *Banco Central del Ecuador*. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/1431-la-economia-ecuatoriana-inicia-la-recuperacion-economica-con-una-expansion-del-2-8-en-2021>.
- Bernal, A. J. (2018). Impacto económico y social de las energías renovables. *Revista de Economía Pública*, 111.
- Bohorquez, Y. (2021). Diseño de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red de 4.5 KW en el Complejo Policial la Despensa en el Distrito de José Leonardo Ortíz - Provincia de Chiclayo. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú*, 67.

- Breeze, P. (2022). Solar Power, *Power Generation Technologies*, pp. 259–286, 261.
- Briceño, G. (2022). Implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado de 40.77 KWp. *Universidad Tecnológica de Jalisco, Chihuahua - México*, 69.
- Calderón, M. (2020). *Esquema del Proceso de Refinación. [(Nueva Refinería: Gran Reto Para México. México D. F.: Ciencia UNAM, 2020.*
- Catalán, L. (2020). La energía en Ecuador. *INERI Actualidad*, 2(2), 5-12, 77.
- Chatterjee, S. (2020). Requerimientos poco realistas de energía y materiales para la captura directa de aire en vías de mitigación profunda. *Nat. Commun.* 11 , 3287, 114.
- Cifuentes, Y. (2023). Perfil de Electricidad de Estados de EE. UU. Totales, Tabla 10: Suministro y Disposición de Electricidad. *Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., Washington, D.C., 57.*
- Coque Torres, L. G. (2024). *ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN EN EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO DEBIDO A LA PENETRACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA EMPRESA BAKER HUGHES (ALS MITAD DEL MUNDO)*. Quito, Ecuador.
- Denchak, D. (2023). oil chemistry and climate change,” in Encyclopedia of Soils in the Environment, Elsevier, *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 44, pp. 117 - 641, 257.
- Drew, V. (23 de agosto de 2023). *Cinco formas en que las refinerías de petróleo de EE. UU. pueden reducir las emisiones hoy*. Obtenido de <https://rmi.org/how-to-slash-refinery-emissions-quickly-washington-state/>.
- Energy, E. f. (2025).). <https://www.e4e-soluciones.com>. Obtenido de <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/mejores-marcas-paneles-solares>.

- Fierro, A. (22 de diciembre de 2024). *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/riesgo-pais-a-la-baja-y-petroleo-alto-dan-buena-perspectiva-al-ecuador-en-2024-nota/>.
- García Sánchez, J. (2020). Perspectivas de la energía renovable en Ecuador. *Revista de Energías Renovables*, 61.
- García, S. (2021). I. (2020). Evaluación técnica y económica de un sistema fotovoltaico. *vivienda rural. Información Tecnológica*. 31(5), 113-1, 114.
- Garrido, D. (2020). Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampollitas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos. *Universidad Austral de Chile*, 77.
- Green, W. (2020). *Enhanced Oil Recovery. Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers*.
- Guevara Aria, R. I. (2024). *Análisis de la viabilidad económica del desarrollo de la generación renovable en Ecuador*. Sevilla, España.
- Guevara, L. (2023). *Estudio de viabilidad para la implementación de paneles fotovoltaicos en la planta de tratamiento de aguas residuales, Parroq. Manabpi - Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí*.
- IGM. (2023). Atlas solar del Ecuador con fines de producción de energía eléctrica . *Revista del Instituto Geográfico Militar* , 127.
- IRENA, L. A. (2021). Energía renovable, capacidad global para su uso. *Energy Renovations*.
- Jiao, F. (2021). Concepto de catalizador compuesto basado en óxido-zeolita que permite la química del gas de síntesis más allá de la síntesis de Fischer-Tropsch. . *Chem. Rev.* 121 , 6588–6609, 195.

- Koleva, M. (2023). Un análisis del potencial y el costo de la descarbonización del sector de refinerías de EE. UU. *Ciencia y tecnología ambiental Volumen 57/Número 3. Sociedad Química Americana.*, 97.
- Kraan, O. (2020). Una transición energética basada exclusivamente en la tecnología lleva a una apuesta por los combustibles solares. *Joule* 3, 2286–2290, 147.
- Kumar, S. (2021). Wastewater Treatment Plant. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 72.
- Lake, L. W. (1989). *Enhanced Oil Recovery. Prentice Hall.*
- Lake, L. W. (2020). *Enhanced Oil Recovery. Society of Petroleum Engineers.*
- Loyola, M. (2022). Analysis of energy, CO₂ emissions and economy of the technological migration clean cooking in Ecuador. *Energy Policy*, 107, 182-, 167.
- Macias, N. (2022). *Viabilidad de un sistema solar fotovoltaico, como alternativa de mitigación de gases de efecto invernadero en la generación eléctrica de motores a diésel en una camaronera del puerto del Morro en la provincia del Guayas .* Guayaquil - Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Mahboubeh, T. (2024). Del desafío a la oportunidad: Mejorar las plantas de refinación de petróleo con la integración sostenible de energías renovables híbridas. *Conversión y gestión de energía. Volumen 305 ,1 de abril de 2024, 118254*, 99.
- Marquez, M. (2020). De la metanización de CO₂ a los ambiciosos hidrocarburos de cadena larga: combustibles alternativos que allanan el camino hacia la sostenibilidad. *Chem. Soc. Rev.* 48, 205–259 (2020)., 69.
- Márquez, P. (2022). “Activated sludge process versus rotating biological contactors in WWTPs: Evaluating the influence of operation and sludge bacterial content on their odor impact”. *Process Safety and Environmental Protection* 160:775-785.

- Navarrete, V. (2020). Evaluation of municipal solid waste management system of Quito – Ecuador through life cycle assessment approach”. *LALCA: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida* 4. Doi: 10.18225/lalca.v4i0.5206.
- Noboa, J. (2020). *Análisis de viabilidad ambiental de la implementación de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de la finca Cardón del Municipio Iconozo – Tolima*. . Bogota - Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Norwood, S. (2021). Descubrimiento de descriptores eficaces para la electrorreducción de CO₂ para predecir los catalizadores con diferente selectividad. *Phys. Chem. C* 125 , 4550–4558 (2021)., 379.
- PEMEX. (17 de enero de 2020). *Diagnóstico de la Industria de Petrolíferos en México*,
Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416899/Parte_1_vf.pdf.
- Pizarro, A. (2018). *Nanofluidos para la Recuperación Mejorada de Petróleo*.
- Prieto, D. (2023). *Evaluación de la Viabilidad Técnica y Financiera para la Implementación de una Planta de Energía Solar en las Cubiertas de las Salas Eléctricas de Thermochill*. Bogotá - Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rodríguez, E. (2021). *Propuesta de mejora de la eficiencia energética en Refinería La Pampilla a través de la sustitución de vapor de precalentamiento en calderín de muy alta presión*. Peru: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Samaniego, M. (2020). Diseño de una Planta Solar Fotovoltaica de 200 KW Conectado a la Red de Media Tensión en el Departamento de Ica. *Universidad Nacional de Ingeniería. Perú*, 96.
- Sampaio, M. (2020). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 590–601, 599.

Sheng, j. (2020). *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies*. Gulf Professional Publishing.

Srivastava, R. (2021). Diseño de una instalación fotovoltaica de 200 kW en un edificio. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(March), 275–291., 227.

Živanović, M. (2020). Large-scale integration of distributed generation into distribution networks: Study objectives, review of models and computational tools, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 974–988, 979.

6. ANEXOS



Instalaciones de la Refinería La Libertad, que serviría de base para las torres de paneles fotovoltaicos.



Otra área de las instalaciones de la refinería que serviría de base para las torres de paneles fotovoltaicos.



Parte del área administrativa de la refinería que serviría de base para los paneles fotovoltaicos.



Área administrativa de la refinería cuyo techado serviría de base para los paneles fotovoltaicos.

Documentos proporcionados por administradores de la Refinería La Libertad.

Alineacion			
C27		32108149	
A	B	C	D
LECTURAS			
	29/7/2025	29/8/2025	
ALTERNADOR	ANTERIOR	ACTUAL	KW/H GENERADOS
1			-
2			-
3			-
4			-
5			-
TYPHOON	-	-	-
LECTURAS			
GENERADORES SDMO	ANTERIOR	ACTUAL	KW/H GENERADOS
GENERADOR 1	21.597.350	21.597.350	-
GENERADOR 2	23.751.070	23.756.538	5.468
GENERADOR 3	25.015.880	25.379.027	363.147
GENERADOR 4	7.889.806	7.889.806	-
GENERADOR 5	31.884.720	32.108.149	223.429
			592.044
LINEAS	ANTERIOR	ACTUAL	KW/H DISTRIBUIDOS
PUERTO 1	133.069.296	133.403.856	334.560
PUERTO 2	66.163.106	66.351.292	188.186
			522.746
	ANTERIOR	ACTUAL	
DOMESTICO 1			
OFICINAS 2			
CALDERAS	7.939.650	7.982.857	43.207
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (DIESEL)			
	ANTERIOR	ACTUAL	GALONES DIESEL
COMBUSTIBLE	11.459.433	11.506.405	46.972
TOTAL GENERACION ELECTRICA:		592.044 KW/h	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE:		46.972 GALONES	
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL			
	Volumen	Unidad de medida	Porcentaje de llenado
TANQUE 17	16.018	GAL	74%
TANQUE 18	17.205	GAL	79%
TANQUE 19	17.332	GAL	80%
TANQUE 20	18.362	GAL	84%
OPERADOR: PEDRO JARAMILLO G.			



Documentos que recogen las evidencias de la investigación realizada en la Refinería La Libertad.



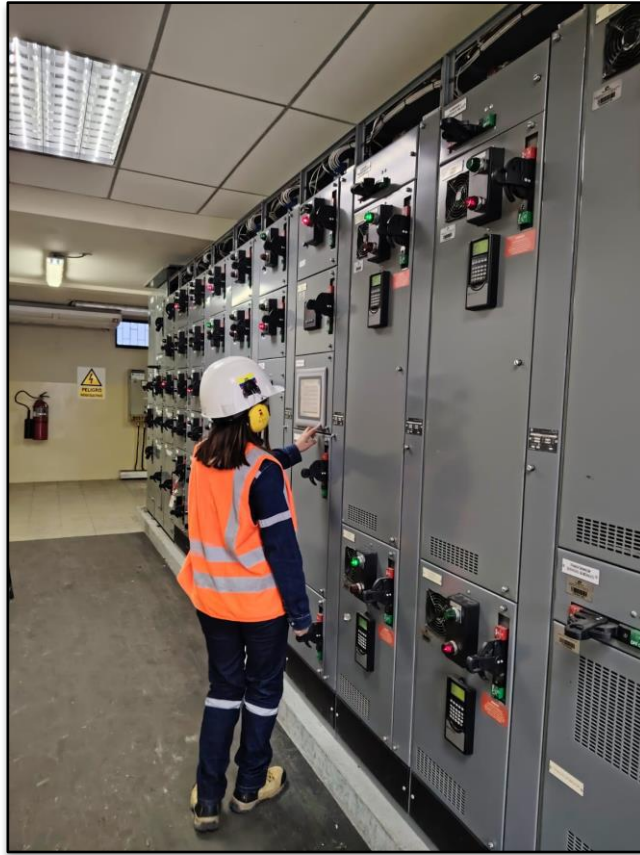
Visita de las instalaciones de la Refinería La Libertad para recabar la información.



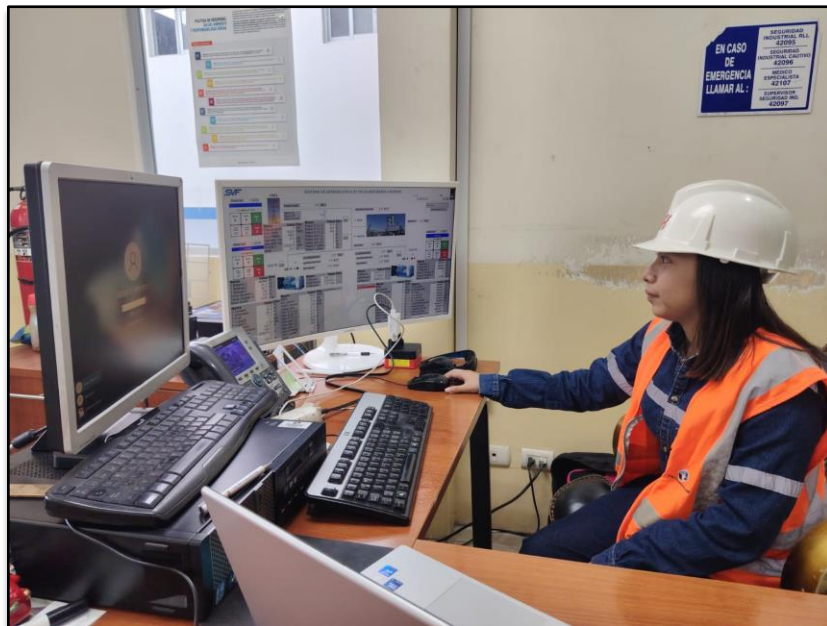
En otra área de las instalaciones de la Refinería La Libertad, constatando la diversidad de actividades.



Revisando equipos y paneles de control de las instalaciones al interior de la Refinería La Libertad .



Revisando paneles de control para entender el funcionamiento de los equipos de la Refinería La Libertad.



Verificando proyecciones en los equipos tecnológicos sobre el proceso de generación eléctrica a través de los generadores que posee la empresa.



Momento de llegada de los 5 generadores a la Refinería La Libertad.



Instalación de los generadores en la Refinería La Libertad.