

**VALIDACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES
DE DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE, EMITIDAS Y EVITADAS POR LOS
SISTEMAS ENERGÉTICOS EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS-ZNI**

LORENA TRUJILLO GARCÍA

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Ambiental

Línea de investigación: Tecnologías Limpias

Directora: Paola Andrea Acevedo Pabón

2022



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

RESUMEN

El IPSE (Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas), tiene como finalidad atender las necesidades energéticas de las zonas del país no pertenecientes al Sistema Interconectado Nacional (SNI), a partir de la implementación de energías renovables y convencionales. En la actualidad el IPSE cuenta con 47 sistemas instalados, conformados por paneles solares fotovoltaicos, plantas diésel y sistemas híbridos. Mediante la aplicación de la metodología desarrollada por la Subdirección de Contratos y Seguimiento en el periodo 2021-II, las emisiones CO₂-eq emitidas y evitadas fueron calculadas en 19 de los proyectos en ejecución. El presente documento busca darle continuidad al cálculo de los 28 sistemas energéticos restantes. Para ello se realizó inicialmente una validación metodológica a partir del análisis de los procedimientos, informes y/o metodologías previamente desarrollados e implementados por el IPSE. Una vez comparadas las bases teóricas y la finalidad de los mismos, se llevó a cabo la selección y corrección de la metodología del 2021-II desarrollada por los practicantes Natalia Jiménez y Edwin Galindo; a partir de la modificación y corrección de esta metodología, se llevó a cabo el cálculo de los 28 proyectos faltantes. Adicionalmente, mediante el desarrollo de una base teórica clara con los resultados obtenidos en el presente documento, se presentará el mismo a la subdirección de contratos y seguimiento del IPSE, para la corrección de los anteriores proyectos calculados con errores, con el fin de contribuir con la comprobación y establecimiento de la metodología seleccionada como línea base en la Institución.

Palabras claves: Emisiones CO₂-eq, paneles solares fotovoltaicos, sistemas híbridos, plantas diésel, emisiones emitidas, emisiones evitadas.

ABSTRACT

The IPSE (Institute for Planning and Promotion of Energy Solutions for Non-Interconnected Areas), aims to meet the energy needs of areas of the country not belonging to the National Interconnected System (SNI), based on the implementation of renewable and conventional energies . IPSE currently has 47 installed systems, made up of photovoltaic solar panels, diesel plants and hybrid systems. In 19 of the projects in execution, through the application of the methodology developed by the Subdirectorate of Contracts and Follow-up, the CO₂-eq emissions emitted and avoided were calculated. This document seeks to give continuity to the calculation of the remaining 28 energy systems. For this, a methodological validation was initially carried out based on the analysis of the procedures, reports and/or methodologies previously developed and implemented by the IPSE. Once the theoretical bases and their purpose were compared, the selection and correction of the 2021-II methodology developed by practitioners Natalia Jiménez and Edwin Galindo was carried out; From this, the calculation of the 28 missing projects was carried out. Additionally, through the development of a clear theoretical basis with the results obtained in this document, the same is concluded for the deputy direction of contracts and follow-up for the correction of previous projects incorrectly calculated, in order to contribute to the verification and establishment of the methodology selected as baseline in the Institution.

KEYWORDS: CO₂-eq emissions, photovoltaic solar panels, hybrid systems, diesel plants, emissions emitted, emissions avoided.

Tabla de contenido

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVOS	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
MARCO REFERENCIAL	10
Marco contextual	10
Marco Teórico	11
Marco Conceptual.....	13
Marco Legal	16
DESARROLLO DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL	21
Plan de Trabajo Propuesto	21
▪ Primera Fase:	21
▪ Segunda Fase:	21
• Tercera Fase:.....	22
• Cuarta Fase:.....	22
• Quinta Fase:.....	22
RESULTADOS OBTENIDOS	23
Análisis de las Metodologías Implementadas por el IPSE para el Cálculo de las Emisiones CO ₂ -eq Emitidas y Evitadas en los Sistemas Energéticos en las ZNI.....	23
Línea Base	40
I. Primer Paso:	40
II. Segundo Paso:.....	42
III. Tercer Paso:	44
IV. Cuarto Paso:.....	44
V. Quinto Paso:	45
VI. Sexto Paso:	46
VII. Séptimo Paso:.....	46

VIII. Octavo Paso:	48
IX. Noveno Paso:	48
Cálculo de emisiones evitadas y emitidas de los 28 proyectos faltantes	50
Comparación error obtenido con PVsyst	56
Recomendaciones Adicionales:	60
ANEXOS	63
REFERENCIAS	63

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Marco Legal</i>	16
<i>Tabla 2. Primera Metodología desarrollada por el Ingeniero electricista German hernández</i>	23
<i>Tabla 3. Segunda metodología desarrollada por el Ingeniero electricista German Hernández</i>	26
<i>Tabla 4. Metodología desarrollada por las pasantes Natalia Osorio y Sandra Valentina Álvarez</i>	27
<i>Tabla 5. Metodología desarrollada por el Biólogo Ambiental Luis Octavio y el Ingeniero Forestal Jose Fernely</i>	31
<i>Tabla 6. Metodología desarrollada por la practicante de Ingeniería Ambiental Natalia Jiménez y el ingeniero electricista Edwin Galindo</i>	32
<i>Tabla 7. Datos de Irradiancia obtenidos en el PVGIS.</i>	44
<i>Tabla 8. Generación energética por panel</i>	45
<i>Tabla 9. Generación energética</i>	46
<i>Tabla 10 Características del Diésel genérico en Colombia</i>	46
<i>Tabla 11. Datos Obtenidos De La Ficha Técnica De La Planta Diésel</i>	47
<i>Tabla 12. Emisiones CO2-eq evitadas</i>	48
<i>Tabla 13. Emisiones CO2-eq emitidas</i>	50
<i>Tabla 14. Características de los Proyectos IPSE</i>	50
<i>Tabla 15. Emisiones por proyecto</i>	52

Lista de Figuras

Figura 1. Fórmulas de conversión	Error! Bookmark not defined.
Figura 2. Fórmulas de conversión	Error! Bookmark not defined.
Figura 3. Sistema Fotovoltaico Autónomo	37
Figura 4. Descripción paso a paso del uso de la herramienta PVGIS	41
Figura 5. Corrección salida y puesta del sol en algunas zonas de la Región Pacífica	42
Figura 6. Paso a paso para convertir texto en Columnas	43
Figura 7. Datos obtenidos en el PVGIS distribuido en columnas	43
Figura 8. Ficha Técnica Planta Diésel Trifásica	47
Figura 9. Perdidas del Sistema	48
Figura 10. Valor de generación energética obtenido en PVsyst	58

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Emisiones CO2 eq emitidas y evitadas por proyecto	53
Gráfica 2. Emisiones evitadas por departamento	54
Gráfica 3. Emisiones emitidas por departamentos	55
Gráfica 4. Generación energética de las metodologías y PVsyst	59
Gráfica 5. Porcentaje de error de las metodologías experimentales	60

INTRODUCCIÓN

Colombia en el año 2020 presentó la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), para el periodo 2020-2030 en el cual se compromete a la puesta en marcha de la gestión del cambio climático en el país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2020). A consecuencia de esta decisión, una de las medidas a las cuales Colombia se compromete a alcanzar es la reducción del 51% de sus emisiones para el 2030, en el cual el sector energético cumple un papel fundamental. Sobre esta base, la UPME en el año 2020 desarrolló un factor para el cálculo de emisiones para las SIN (Sistema Interconectado Nacional), con el fin de contribuir al inventario de emisiones y para proyectos que se desarrollen bajo Mecanismos de Desarrollo limpio (UPME et al., 2020). Sin embargo, este factor excluyó a las emisiones generadas en las Zonas No Interconectadas, conformadas por *“municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Nacional, SIN”* (Ley 855, 2003). Cuyas dinámicas y formas de generación energética difieren completamente de las que poseemos en el Sistema Interconectado Nacional -SIN, debido a que no se tiene una metodología o línea base estandarizada a nivel nacional ni internacional para el cálculo de las emisiones generadas en estas zonas del país.

El IPSE (Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas), tiene como finalidad atender las necesidades energéticas de las zonas del país no pertenecientes al Sistema Interconectado Nacional (SNI), a partir de la implementación de energías renovables y convencionales (IPSE, 2022). A razón de ello, el IPSE ha tomado la vocería en el desarrollo de una metodología para la identificación de las emisiones generadas por los sistemas energéticos instalados en las ZNI, para lo cual se han implementado diferentes cálculos, informes y metodologías desde el año 2020. Sin embargo, no hay una metodología base verificada y establecida en el instituto, debido a que estos documentos han sido desarrollados por más de un profesional de diferentes subdirecciones, y adicional a ello estos cuentan con errores teóricos y de cálculo.

A razón de la falta de formalización de una metodología base se ha continuado con la producción de más metodologías para el cálculo de emisiones CO₂-eq, en diferentes áreas del IPSE, lo que ha generado desorden y confusión cuando se ha de presentar e interpretar resultados de impactos generados y evitados en las comunidades. Esta situación afecta el desempeño del IPSE en relación al cuidado al medio ambiente y dificulta el cumplimiento de los compromisos sociales de sus proyectos, que buscan asegurar calidad de vida a sus usuarios, ya que al no tener claridad del impacto que se genera en las comunidades no se puede hacer una correcta corrección y/o compensación en el área a intervenir.

Por otro lado, el no tener un inventario completo de emisiones de todos los sistemas energéticos instalados y en ejecución, no permite al IPSE contribuir con el seguimiento de emisiones generadas a nivel nacional, así como en la contribución a la disminución de emisiones de gases efecto invernadero, según los compromisos adquiridos en el COP21 (IPSE, 2021). Es importante recordar que Colombia es perteneciente al acuerdo de París, por lo tanto, tenemos consolidado un máximo de emisiones de gases efecto invernadero a generar a nivel nacional, lo cual es evaluado cada 5 años para verificar los avances hacia el objetivo propuesto (United Nations, 2021). Por ello se hace necesario, tener una metodología estándar que permita un cálculo preciso de emisiones generadas en estas zonas aisladas (ZNI) del país.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Validar las metodologías utilizadas para el cálculo de emisiones generadas y evitadas por sistemas energéticos implementados en Zonas no interconectadas a cargo del IPSE-Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas

Objetivos Específicos

- Identificar las metodologías previamente utilizadas por el IPSE para el cálculo de emisiones de CO₂-eq generadas y evitadas.
- Identificar la metodología que más se ajuste a los lineamientos técnicos y normativos ambientales existentes.
- Realizar el análisis de los resultados mediante la comparación de las metodologías aplicadas, identificando ventajas, desventajas y aplicabilidad de las mismas a las Zonas No Interconectadas- ZNI.
- Calcular las emisiones de dióxido de carbono equivalente CO₂eq emitidas y evitadas de los proyectos energéticos asignados por el IPSE, en las Zonas No Interconectadas-ZNI, aplicando la metodología más apropiada.
- Establecer oportunidades de mejora presentando estrategias susceptibles de implementación para la entidad.

MARCO REFERENCIAL

Marco contextual

Desde el año 2004, el IPSE ha sido la entidad gubernamental de Colombia responsable de planificar y promocionar soluciones energéticas para las Zonas no interconectadas en el país. Actualmente, el instituto ha satisfecho las necesidades energéticas de 1.774 localidades beneficiando a un total de 202.198 usuarios, con una capacidad de generación instalada la cual recae principalmente en los combustibles fósiles siendo un 94,7% y dejando a las energías renovables con un total de 5,3% (IPSE, 2022). Sin embargo, gracias a la privilegiada posición que ocupa el país en la línea ecuatorial, la capacidad de irradiación que dura cerca de 12 horas al día durante todo el año y las altas velocidades de los vientos, siendo la Guajira el que mayor disponibilidad de este recurso presenta, permite al país propender por una transformación energética a una cuya matriz se base en la producción de energía eólica y solar (PROCOLOMBIA, 2018). Por otro lado, este cambio representaría grandes beneficios adicionales en las ZNI, ya que en la actualidad el transporte de combustible a estas zonas es en muchas ocasiones afectados por el orden social, las vías de acceso son deplorables y los fenómenos meteorológicos pueden imposibilitar su acceso; asimismo los grupos al margen de la ley pueden beneficiarse del combustible que tenía como fin brindar energía a la población. Es por ello que el IPSE en su búsqueda por mejorar las condiciones de vida de sus pobladores, propendiendo por la construcción de paz y equidad en el país, la apuesta a el uso de energías limpias mientras combate las emisiones de gases efecto invernadero (IPSE, 2022).

Marco Teórico

A partir de ello en el 2020 la UPME desarrolló un factor de emisiones para las SIN (Sistema Interconectado Nacional), para el inventario de emisión y para proyectos que se desarrollen bajo Mecanismos de Desarrollo limpio (UPME et al., 2020). Sin embargo, este factor excluyó a las emisiones generadas en las Zonas No Interconectadas, conformadas por “*municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Nacional, SIN*” (Ley 855, 2003). Cuyas dinámicas y formas de generación energética difieren completamente de las que poseemos en el Sistema Interconectado Nacional -SIN, motivo por el cual no se tiene una metodología o línea base para el cálculo de las emisiones generadas en estas zonas del país.

Para el año 2020 el IPSE desarrolló la primera metodología enfocada en el cálculo de reducción de emisiones de CO₂-eq, a partir de la Fórmula (1) (Ingeniero German Hernández, comunicación personal, 9 de agosto del 2021):

$$(Total\ Potencia\ Instalada * Número\ de\ horas\ que\ se\ presta\ el\ servicio) * 0,2736\ KgCO_2/kWh$$

(1)

La cual posteriormente fue modificada, incluyendo más factores que podrían incidir en la generación de energía y por ende las emisiones obtenidas, a partir de la siguiente Fórmula (2) (Ingeniero German Hernández, comunicación personal, 9 de agosto del 2021):

1. *Potencia Instalada (KWP) * Radiación en la zona de influencia del proyecto (Kwh/M4) * Tiempo (Año en días) = Energía (Año/Kwh)*
2. *(Potencia Instalada (KWP) * Radiación en la zona de influencia del proyecto (Kwh/M4) * Tiempo (Año en días)) * 0,20 = Pérdidas (Año/Kwh)*
3. *Energía (Año/Kwh) - Pérdidas (Año/Kwh) = Energía real (Año/Kwh)*
4. *Energía real (Año/Kwh) * 0,6 (gramos CO₂ por cada 1 Kwh) = Emisiones CO₂ (gr) Valor el cual se pasa a TON.*

(2)

La Fórmula (2) tenían como finalidad la “reducción de emisiones”, concepto el cual se refiere a la disminución o mitigación de la generación de GEI, a partir de la implementación de mecanismos o estrategias que contribuyan a ello, lo cual no era el propósito real de este cálculo ya que el interés principal era obtener un valor de emisiones generadas (Ministerio de Defensa - Gobierno de España, 2020).

Posteriormente, para el año 2021 en el primer semestre las practicantes Natalia Osorio Camargo y Sandra Valentina Álvarez Bermúdez de la carrera de Ingeniería ambiental de la universidad libre, desarrollaron un cálculo para la obtención de la “huella de carbono” de los proyectos energéticos instalados en las ZNI. Para lo cual se consideró las horas de uso de los usuarios para obtener el consumo de energía total en el año en MWh, resultado el cual se multiplicaba por un factor de emisión diésel en CO₂-eq/MWh, y el consumo en diésel por Gal/hora (Herrera Ospina, et al., 2021). Fórmula la cual no tomaba en consideración las unidades de medida ya que estas no corresponden a la hora de multiplicar los valores finales y el concepto de huella de carbonó fue tomado de forma errónea, ya que en este caso lo que se busca determinar es la cantidad de CO₂-eq que se produce como resultado de la generación energética, tomando el valor en su totalidad sin restar la consumida por los habitantes de las ZNI. A diferencia de la huella de carbono la cual es una métrica ambiental que calcula la totalidad de emisiones, para lo cual en este caso se debería realizar el cálculo de la empresa comprendiendo el transporte, la construcción de los sistemas energéticos, el uso de maquinaria, entre otros (Galindo Becerra et al., 2021).

Siguiente a este cálculo el Biólogo Ambiental Luis Octavio Cuenca y el Coordinador del Centro de Gestión Ambiental Jose Fernely Morales, desarrollaron un informe en el 2021-2 de las emisiones generadas en las ZNI para lo cual hicieron uso de la Fórmula (3) (Cuenca Osorio & Morales Sarmiento, 2021):

$$\text{Emisiones totales [KgCO2-eqmes]} = \text{Factor de Emisiones [KgCO2-eqkWh/]} \times \sum \text{Energía generada mes (por comunidad) [kWhMes/]} \quad (3)$$

En el que no se hace uso de un factor de emisión estandarizado y tiene como enfoque la generación de CO2-eq de las comunidades y no de la institución.

Finalmente, para el periodo 2021-2 los practicantes Natalia Jiménez (Ingeniera ambiental) y Edwin Galindo (Ingeniero electricista) pertenecientes a la Subdirección de Contratos y Seguimiento, desarrollaron un cálculo de emisiones emitidas y evitadas más completo, el cual consiste en calcular la generación energética a partir de metodologías obtenidas de la ISO 14064-2 y la IPCC 2006. Adicionalmente, se consideran factores técnicos como la radiación solar, el modelo de plantas diésel, el factor de emisiones estandarizado de la UPME, entre otros que permiten una aproximación más acertada a la realidad. Sin embargo, a finales del año 2021 se determinó que para obtener resultados con una mayor exactitud, es importante analizar los datos obtenidos de la generación energética con el software PVsyst, el cual a diferencia de la metodología realizada en el 2021-2, considera factores como la sombra que se puede presentar sobre los paneles, la inclinación de los paneles, su conexión, tipo de cableado, entre otros, que permiten un valor más exacto a la hora de calcular las emisiones (Galindo Becerra et al., 2021).

Marco Conceptual

- **El calentamiento global:**

Es una teoría predicha a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales que muestran un aumento progresivo en la temperatura en los últimos 100 años, debido a la actividad humana y los gases efecto

invernadero que esta genera (Benavides Ballesteros & León Aristizábal, 2007). Estos cambios abruptos en la temperatura provocan una disrupción peligrosa y generalizada en la naturaleza, con eventos tales como sequías, olas de calor e inundaciones, trayendo consigo enormes afectaciones a todos los seres vivos (Naciones Unidas, 2020). Para lograr retrasar y/o detener estos impactos en nuestro planeta se requiere un compromiso a nivel mundial, por esta razón para el año 1992 Colombia dio sus primeros pasos encaminados a contribuir con esta problemática, a partir de la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático, la cual fue ratificada en la Ley 164 de 1994 (MADS, 2017). En la actualidad Colombia se comprometió con reducir un 20% sus gases efecto invernadero para el año 2030 y lograr la carbono neutralidad para el 2050, fin último el cual fue ratificado en la Ley 2169 del 2021, en la cual se establece se requiere de la diversificación de la matriz energética nacional y la transformación de las ZNI, a través de fuentes no convencionales de energías renovables (Ley 2169, 2021). Para darle un seguimiento oportuno a estas metas se realizan reuniones cada 5 años entre los países que han ratificado las Convenciones de las Naciones Unidas, por lo cual la próxima reunión será el 2026, a lo cual el IPSE a demostrado su compromiso en el impulso del establecimiento de energías renovables en la matriz energética y la reducción de las emisiones Gases Efecto Invernadero-GEI (IPSE, 2021).

- **Matriz energética:**

Es el conjunto de recursos energéticos disponibles en un territorio determinado, representado así la cantidad de energía aprovechable en un lugar. América Latina y el Caribe gracias a su extraordinaria disponibilidad hídrica posee la matriz energética más limpia del planeta, representando para el 2018 un 58% de las fuentes renovables de generación total de electricidad. Sin embargo, la incertidumbre sobre la disponibilidad de agua a razón del cambio climático y las implicaciones sociales y ambientales de la instalación

de plantas hidroeléctricas en los ecosistemas, han impulsado las alternativas de generación eléctrica renovables. Actualmente las energías limpias como la solar y eólica, en la actualidad representan el 10% de la capacidad de generación eléctrica instalada en el país, buscando alcanzar un 12% para el año 2022. Así mismo, el país tiene como objetivo la carbono neutralidad, para lo cual es indispensable la participación del sector energético el cual es uno de los mayores emisores de GEI (Ministerio de Minas y Energía [MinMinas], 2021).

- **Huella de Carbono:**

Son las cantidades de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a las actividades de producción o consumo de los seres humanos. Su cálculo sigue los principios establecidos en el protocolo de emisiones de gases efecto invernadero o las normas ISO 14064, la cual se divide en tres partes y se enfoca en la contabilización, reducción y verificación de GEI de empresas y administraciones (Millán & Rosero Narváez, 2015). Este indicador ambiental busca reflejar la totalidad de los GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, evento, producto, actividad u organización. Existen tres tipos de emisiones: las directas alcance 1, sobre las que la empresa tiene control, las emisiones indirectas alcance 2, generadas por la electricidad adquirida y las emisiones indirectas alcance 3 todas las emisiones de la cadena de valor de la empresa (Carbonplus, 2021).

Marco Legal

TABLA 1. MARCO LEGAL

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN	CONTENIDO
Ley 1931 de 2018	<i>“Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático”.</i>	Guía para la toma de decisiones de las persona públicas y privadas, principalmente en las acciones de adaptación al cambio climático, mitigación de gases efecto invernadero, con el fin de reducir la vulnerabilidad de la población y ecosistemas, proponiendo una transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono.
Ley 2169 de 2021	<i>“Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones”</i>	Se establecen las medidas mínimas para alcanzar la carbono neutralidad, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país, en el marco de los compromisos internacionales asumidos. <u>En el Artículo 16</u> , se dispone el Reporte Obligatorio de

		Emisiones de GEI, tanto las directas como las indirectas y la información y documentación para la elaboración de inventarios GEI.
Resolución 1447 de 2018	<i>“Por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015, y se dictan otras disposiciones”.</i>	Registro Nacional de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero (RENARE), para la gestión de las iniciativas de mitigación de Gases Efecto Invernadero-GEI a nivel nacional, que contribuyen al cumplimiento establecido bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMUCC.
Ley 1715 de 2014	<i>“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”.</i>	Tiene por objeto promover el desarrollo y utilización de las Fuentes No Convencionales, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas-ZNI y en

		otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de Gases Efecto invernadero-GEI y la seguridad de abastecimiento energético.
Ley 2099 de 2021	<i>“Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.”.</i>	La presente ley tiene por objeto modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, i8 dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía.
CONPES 3934 de 2018	Política de Crecimiento Verde en Colombia.	Hoja de ruta que orienta a largo plazo, el proceso de transición hacia un modelo económico basado en un crecimiento verde. Aunque el país cuenta con un robusto marco político y normativo para enfrentar los retos asociados a un desarrollo

		sostenible, no se ha logrado integrar de manera eficiente el componente de sostenibilidad ambiental a las políticas sectoriales y a las estrategias de crecimiento económico.
2006 IPCC- Grupo Intergubernamental de Expertos el Cambio Climático	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero-GEI	Informe especial sobre el cambio climático y la tierra responde a la decisión de 2016 del Grupo Intergubernamental de preparar tres informes especiales durante el sexto ciclo de evaluación, teniendo en cuenta las propuestas de los gobiernos y las organizaciones observadoras. En él se abordan los flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en los ecosistemas terrestres, el uso de la tierra y la gestión sostenible de las tierras en relación con la adaptación al cambio climático y la mitigación del cambio climático, la desertificación, la degradación

		de las tierras y la seguridad alimentaria.
ISO 14064	Sistema de Gestión Huella de Carbono	Proporciona a la industria y al gobierno un conjunto de herramientas para el desarrollo de programas destinados a reducir las emisiones de GEI. Asimismo, se establece que al saber cuánto CO2-eq está emitiendo una organización es el primer paso para desarrollar y establecer un Sistema de Gestión sobre Huella de Carbono, en el cual se identifique y reduzca las fuentes que generan estos gases GEI.

Fuente: Autor (2022) tomando como base Ley 1931 de 2018, Ley 2169 de 2021, Resolución 1447 de 2018, Ley 1715 de 2014, Ley 2099 de 2021, CONPES 3934 de 2018, IPCC 2006 e ISO 14064

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL

Plan de Trabajo Propuesto

- **Primera Fase:**

Se conoció la situación del IPSE en el componente ambiental, con enfoque en el cálculo de emisiones, para lo cual se llevaron a cabo reuniones y mesas de trabajos, con los profesionales a cargo y con los dos practicantes que desarrollaron la última metodología y los cuales actualmente ocupan un cargo fijo en el instituto. Adicionalmente, después de una investigación bibliográfica exhaustiva pude confirmar que efectivamente, no existe ningún cálculo para las emisiones de CO₂-eq en Colombia para las Zonas No Interconectadas-ZNI del país, ya que las metodologías actuales han sido enfocadas solo en el Sistema Conectado Nacional-SIN cuyas dinámicas y formas de generación energética difieren totalmente de las ZNI (UPME et al., 2015).

- **Segunda Fase:**

Una vez comprendido el enfoque del trabajo a realizar y haber iniciado el desarrollo del anteproyecto, se dio comienzo al levantamiento de los antecedentes de cálculos, informes y/o metodologías desarrollados por el IPSE para el cálculo de emisiones desde el 2020. Después de recolectados los antecedentes se procedió al análisis conceptual y de cálculo de los mismos, identificando los errores de cada metodología y realizando las respectivas observaciones, con el fin de reconocer los elementos a mejorar y la metodología más acertada.

- **Tercera Fase:**

A partir de la selección de la metodología más apropiada la cual fue la desarrollada por los pasantes del 2021-II, y haber adicionado las observaciones y/o correcciones pertinentes, se dio paso a la implementación de esta metódica modificada para el cálculo de los 28 proyectos restantes. Asimismo, de forma paralela, se desarrolló la línea base a partir de la ejecución de una ruta paso a paso de los cálculos, mediante lo cual se busca que esta metodología pueda ser replicada por quien lo requiera tanto fuera como dentro del IPSE. Lo expuesto anteriormente puede ser observado a mayor profundidad en la sección denominada “LINEA BASE”.

- **Cuarta Fase:**

Una vez realizados los cálculos se dio continuidad al análisis de los resultados obtenidos y el porcentaje de error existente en los mismos a partir de la comparación con el software PVsyst, el cual posee una mayor exactitud a la hora de determinar la generación energética del sistema con sus respectivas perdidas. Para lo cual, se comparó el porcentaje de error de los resultados de la metodología desarrollada por los pasantes del 2021-II y la modificada en el presente cálculo, con el fin de determinar si se logró una mejora a partir de las modificaciones realizadas por el presente documento; esto se puede observar en el capítulo de “RESULTADOS OBTENIDOS”, en la comparación de los resultados con PV syst.

- **Quinta Fase:**

En el capítulo “RESULTADOS OBTENIDOS”, se dispuso una sección denominada “Recomendaciones”, con el fin de aportar en la mejora continua de la presente metodología y del IPSE en futuros proyectos en el componente del cálculo de emisiones emitidas y evitadas.

RESULTADOS OBTENIDOS

Análisis de las Metodologías Implementadas por el IPSE para el Cálculo de las Emisiones CO2-eq Emitidas y Evitadas en los Sistemas Energéticos en las ZNI

TABLA 2. PRIMERA METODOLOGÍA DESARROLLADA POR EL INGENIERO ELECTRICISTA GERMAN HERNÁNDEZ

METODOLOGÍA	CONCEPTO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
Primer cálculo desarrollado por el Ingeniero Electricista German Hernández (2020): (Total Potencia Instalada * Número de horas que se presta el servicio) * 0,2736 KgCO2-eq/kWh (1) El desarrollo de este cálculo tenía como fin establecer una estimación aproximada de TON de CO2-eq que se dejaron de emitir para cada año al usar energías renovables en lugar de combustibles fósiles. Para lo cual acudió a los factores de conversión establecidos por España, específicamente de la provincia de Aragón. El valor tomado fue de tipo de combustible “FUEL” el cual es utilizado	El primer componente a analizar es el factor de emisión el cual se está considerando, ya que el tipo de diésel y la calidad del mismo puede variar entre países, como resultado de factores tales como: <u>El origen de obtención</u> de petróleo ya que esto tiene un efecto directo en la calidad de composición del mismo, debido a que según su geografía este resultará en la variabilidad del tipo de crudo obtenido el cual puede ser pesado, mediano y liviano, característica la cual resulta del contenido de carbono y azufre (Ortiz Vallejo, 2014). <u>La técnica de refinación</u> será equivalente al tipo de crudo ya que entre más liviano sea más sencillo será de refinar lo cual resulta de una menor cantidad de procesos requeridos,	-No se considera la verdadera eficiencia energética que puede poseer el sistema, ya que se pueden presentar pérdidas en el rendimiento de componentes como el acumulador, inversor, baterías y otras pérdidas asociadas a la generación energética de los paneles a razón de factores como la sombra y la temperatura, de acuerdo al estudio de Ruiz Pinzón, 2021. -No se está considerando que las horas de generación de los paneles oscilan cada mes y por la posición geográfica en el país. -De modo complementario, se incurre en un error en la ecuación 1 y 2, ya que las memorias de cálculo empleadas en esta	+ Primera metodología desarrollada por el IPSE enfocada en el cálculo de emisiones que generan los sistemas instalados en las ZNI.

normalmente en las plantas de generación eléctrica con combustible, valor que corresponde a 0,2736 kgCO₂-eq/kWh (Ingeniero German Hernández, comunicación personal, 5 de febrero del 2022).	mientras que para el crudo pesado debido a su considerable contenido de carbono y azufre requiere de una técnica de refinación mucho más compleja (Ortiz Vallejo, 2014).	ecuación están tomando los valores de la potencia instalada y el número de horas que presta el servicio los paneles solares, valor el cual es multiplicado por el factor de emisión que genera una planta diésel. Es decir, se asume que los paneles son los generadores de las emisiones, lo cual es erróneo, por el contrario, como plantea Galindo Becerra (2021), se debe realizar una comparación con las plantas de combustibles fósiles ya que el consumo de diésel/hora de las mismas varían por las capacidades de potencia y por ende la cantidad de emisiones difiere. -No se consideran las emisiones emitidas y las evitadas de los proyectos híbridos, es decir los que poseen un sistema energético compuesto por paneles solares y una planta diésel para el suministro de energía en las ZNI -Finalmente, el tipo de diésel exigido en países de Europa difieren de los de Latinoamérica, siendo un ejemplo de ello la tesis realizada por Ortiz Vallejo (2014), quien compara los estándares que	
---	---	---	--

		pide Europa respecto a los pedidos por nuestro país vecino Ecuador.	
--	--	---	--

Fuente: Autor (2022) tomando como base, Ortiz Vallejo (2014) & Hernández Ortiz (2022).

TABLA 3. SEGUNDA METODOLOGÍA DESARROLLADA POR EL INGENIERO ELECTRICISTA GERMAN HERNÁNDEZ

Fuente: Autor (2022) tomando como base, Ministerio de Defensa-Gobierno de España (2020) & Hernández Ortiz (2022)

METODOLOGÍA	CONCEPTO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
<u>Segundo cálculo desarrollado por el Ingeniero Electricista German Hernández (2020):</u> 1.Potencia Instalada (KWP) * Radiación en la zona de influencia del proyecto (Kwh/M4) * Tiempo (Año en días) = Energía (Año/Kwh) 2.(Potencia Instalada (KWP) * Radiación en la zona de influencia del proyecto (Kwh/M4) * Tiempo (Año en días)) *0,20 = Perdidas (Año/Kwh) 3.Energía (Año/Kwh)- Pérdidas (Año/Kwh) =Energía real (Año/Kwh) 4.Energía real (Año/Kwh) * 0,6 (gramos CO2-eq por cada 1 Kwh) =Emisiones CO2 (gr) Valor el cual se pasa a TON. (2)	<u>Reducción de emisiones:</u> Disminución o mitigación de la generación de GEI, a partir de la implementación de mecanismos o estrategias que contribuyan a ello. (Ministerio de Defensa - Gobierno de España, 2020).	-La finalidad de esta ecuación tenía como objetivo obtener el valor de la “reducción de emisiones”, a partir de la instalación de un sistema solar fotovoltaico. Sin embargo, este no era el propósito real de este cálculo ya que el interés principal era obtener un valor de emisiones generadas. -A partir del estudio de Ruiz Pinzón, se determina que no se consideran las pérdidas que se generan cuando la energía pasa de AC a DC mediante el inversor, ni la energía que se pierde por el paso de esta por la batería y el controlador. -Por otra parte, las unidades de medida que se multiplican en las líneas 1. y 2., en la ecuación número 2 no dan como resultado año/kWh ya que no se toman en cuenta las unidades m4 y KWP. -No se consideran las emisiones emitidas y las evitadas de los proyectos híbridos, es decir los que poseen un sistema energético compuesto por paneles solares y una planta diésel para el suministro de energía en las ZNI	+ Se consideran las pérdidas de los paneles con un porcentaje del 20% y una eficiencia energética del 80%

TABLA 4. METODOLOGÍA DESARROLLADA POR LAS PASANTES NATALIA OSORIO Y SANDRA VALENTINA ÁLVAREZ

METODOLOGÍA	CONCEPTO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
<u>Cálculo desarrollado por las pasantes Natalia Osorio Camargo y Sandra Valentina Álvarez Bermúdez (2021-I):</u> Cálculo de la huella de carbono, cuyo objetivo es la medida de la cantidad total de emisiones de CO₂-eq y otros Gases Efecto Invernadero-GEI causados de forma indirecta y directa por un individuo, actividad, organización o producto. Tomando como alcance las emisiones de alcance 2 (emisiones indirectas), las cuales son derivadas del consumo de energía eléctrica de los proyectos energéticos de las ZNI, producidas físicamente fuera de la organización (Herrera Ospina, et al., 2021) Pasos de la metodología: Identificación de la fuente de emisión CO₂-eq: Fue seleccionada la industria de la	La Huella de Carbono de Organización según ISO 14064 es una eco- etiqueta identificativa de la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de una organización. Para el cálculo de la huella de carbono, se definen tres alcances: <u>Las emisiones de alcance dos:</u> tienen como definición, “todas aquellas emisiones indirectas derivadas de la generación por parte de terceros, de energía, calor o vapor, a razón de que, aunque sea consecuencia de las actividades de la empresa son generadas o controladas por terceros” (Schneider et al., 2010). <u>Las emisiones de alcance tres:</u> otras emisiones indirectas, resultantes de actividades de la organización que ocurren fuera de esta y no son controladas ni	-Para la presente metodología el alcance seleccionado fue el dos, por lo tanto, no es consecuente con lo que realmente se está calculando, ya que es a los usuarios de las ZNI a quienes se les está considerando como generadores de energía cuando en realidad solo la están consumiendo. -Debido a que el IPSE no tiene la capacidad económica, ni de personal para hacer el seguimiento detallado que requiere la huella de carbono, en las dinámicas que se presentan dentro y fuera de la institución. Si nos centramos solo en las emisiones que se generan en la instalación, operación y mantenimiento en las ZNI, debemos comprender que las dinámicas de estas zonas están en constante cambio y muchas veces son impredecibles, por lo tanto, es realmente difícil tener una estimación aproximada de la huella de carbono que se genera en estas zonas del país. -Es incorrecto el factor de emisión seleccionado para los proyectos de sistemas solares e híbridos ya que, debido a que el factor seleccionado corresponde al del Sistema Conectado Nacional-SIN, lo cual como se había	+Este cálculo utilizo como fundamento la metodología Green House Gas Protocol (GHG), la norma ISO 14064-2: la cual proporciona a la industria y al gobierno un conjunto de herramientas para desarrollar programas destinados a reducir las emisiones de GEI y las directrices del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones GEI. +Se seleccionó de manera acertada el factor de emisión del Diésel Genérico específicamente para Colombia determinado por la UPME, para el cálculo de lo proyectos con sistemas de generación energética con plantas diésel. +Se consideran los proyectos híbridos y de generación a base de plantas diésel en el cálculo de emisiones totales.

energía la cual comprende tres actividades: producción de combustibles primarios, conversión en combustibles fósiles secundarios o terciarios y la última, enfoque de la actual metodología, energía no fósil cuyo objetivo es la transformación del combustible en electricidad y/o calor (Herrera Ospina, et al., 2021). Selección método de cálculo: <i>Huella de Carbono (t CO₂-eq):</i> <i>Dato Actividad*Factor de Emisión</i> (4) Donde el Dato de actividad se refiere al parámetro que define el grado o nivel de actividad generador de las emisiones de GEI y el Factor de emisión supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad de parámetro “dato actividad” (Herrera Ospina, et al., 2021). Recopilación de datos y elección del factor de emisión: <u>3.A Recolección de datos:</u> Se seleccionó la cuantificación de las	generadas (Schneider et al., 2010). <u>Las emisiones de alcance uno:</u> emisiones directas, fuentes propias controladas por la empresa (Schneider et al., 2010).	mencionado anteriormente es completamente diferente a las ZNI. -Se vuelve a cometer el error de considerar que son los paneles solares son los generadores de emisiones, por este motivo a la hora de multiplicar el consumo de energía total el cual está dado por kWh/año por el factor de emisión kg CO₂eq/Gal el resultado no puede ser obtenido en kg CO₂eq como lo establece la metodología realizada	
--	--	---	--

emisiones indirectas del alcance 2 de la metodología de huella de carbono, teniendo como fin la identificación del consumo anual de kWh para cada uno de los proyectos energéticos. A partir de lo cual se realiza una estimación de la potencia y las horas de uso al día, con el fin de obtener los vatios hora (Wh), para ser convertido en kWh/año (Herrera Ospina, et a., 2021). <u>3.B. Elección factor de emisión:</u> Para los proyectos de sistemas energéticos con sistemas renovables (solar y eólico) se tomó el factor del Sistema Interconectando Nacional-SIN. $FE_{combustible} = FECOC * LHV * \rho * fc$ (5) Mientras que para los proyectos energéticos de tipo híbrido y diésel se tomó un factor de emisión para combustibles desarrollado por la UPME, para combustibles colombianos, obteniendo un factor de emisión de 10,39 kgCO₂-eq/Gal, el cual es multiplicado por el consumo de energía total del			
--	--	--	--

proyecto dado en kWh/año (Herrera Ospina, et al., 2021).			
---	--	--	--

Fuente: Autor (2022) tomando como base, Herrera Ospina, et al (2021) & Schneider et al., (2020)

TABLA 5. METODOLOGÍA DESARROLLADA POR EL BIÓLOGO AMBIENTAL LUIS OCTAVIO Y EL INGENIERO FORESTAL JOSE FERNELY

METODOLOGÍA	CONCEPTO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
<u>Cálculo desarrollado por el Biólogo Ambiental Luis Octavio Cuenca Osorio y el Ingeniero Forestal Jose Fernely Morales Sarmiento (2021):</u> <i>Emisiones totales [KgCO₂eqmes]/= Factor de Emisiones [KgCO₂eq2kWh/] x ΣEnergía generada mes (por comunidad) [kWhMes/]</i> Factor de Emisiones: 0.778 ka CO₂ea/kWh (3) El factor de emisión determinado en el estudio desarrollado por los autores de la presente metodología, junto con la OLADE fueron los siguientes: El primer factor de emisiones, en el cual solo se considera la generación energética por plantas diésel en las ZNI, es de 0,796 kgCO₂/kWh, y el segundo, en el cual se incluyen la generación energética con plantas diésel, energías renovables y la importación de energía del Ecuador, es de 0,772 kgCO₂/kWh (OLADE, 2016). En cuanto a la obtención de los datos de consumo energético de los usuarios, este fue obtenido a partir del Centro de Monitoreo Nacional de las localidades que posee un sistema de monitoreo con Telemetría (sistema de medición y control remota a partir del uso de satélites).	La telemetría es un sistema el cual permite monitorear a distancia procesos o equipos, enviando alertas o alarmas a un sistema de control. En el caso del IPSE el CNM (Centro Nacional de Monitoreo) recibe información respecto al consumo energético de las ZNI. En la actualidad de las 1769 localidades de las ZNI que actualmente cuentan con servicio de energía solo el 9% de ellas cuenta con telemetría, es decir 110 localidades (IPSE, 2022).	-Estos estudios fueron llevados a cabo entre el 2014-2016 con los datos del 2014, es decir casi una década ha transcurrido desde que se hizo el estudio con los datos de energía en las ZNI que había para ese entonces, y entendiendo estas zonas aisladas del país como dinámicas, en constante cambio y en las que año tras año se ha extendido el recurso de energía para llegar a más colombianos. Se concluye que este factor a variado con el transcurso del tiempo, por lo tanto, se requiere de una actualización del mismo para disminuir el porcentaje de error. -El objetivo de este cálculo es determinar las emisiones generadas por los usuarios lo cual difiere con lo que busca el IPSE actualmente, ya que se requiere las emisiones que se están emitiendo y evitando de los proyectos instalados. - Al depender de los datos obtenidos por telemetría se posee un gran sesgo en los resultados, debido a que la cobertura es tan reducida no es posible llegar a la totalidad de los proyectos.	+ Es pertinente destacar la gestión que realizaron los profesionales de esta metodología para haber obtenido una consultoría de un ente internacional como lo es la OLADE, y desarrollar uno de los primeros estudios enfocados en la generación energética de las ZNI. Este estudio tiene por nombre: “Formulación de una Propuesta para una Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMA) para las Zonas No interconectadas (ZNI) de Colombia” y fue desarrollado en el 2016. Informe a partir del cual se tuvo en cuenta las diferencias existentes entre la SIN y las ZNI en Colombia, en cuanto a sus dinámicas y formas de generación energética.

Fuente: Autor (2022) tomando como base, OLADE (2016) & IPSE (2020).

TABLA 6. METODOLOGÍA DESARROLLADA POR LA PRACTICANTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL NATALIA JIMÉNEZ Y EL INGENIERO ELECTRICISTA EDWIN GALINDO

METODOLOGÍA	CONCEPTO	ASPECTOS NEGATIVOS	ASPECTOS POSITIVOS
<u>Cálculo desarrollado por la practicante de ingeniería ambiental Natalia Jiménez Mendoza y Edwin Darío Galindo (2021-II)</u> <i>Emissiones totales [CO2/año]</i> <i>=Generación de energía anual sistema</i> (6) <i>Emissiones Evitadas de [CO2/año]=</i> <i>Emissiones CO2 línea base</i> (7) Entendiendo que no es posible realizar el caculo con los factores de emisión estipulados a nivel nacional los cuales tienen como enfoque el Sistema Interconectado Nacional, se planteó una metodología para estimar la generación energética y el cálculo de las emisiones de CO2-eq emitidas y evitadas por proyecto, para lo cual se plantearon las siguientes ecuaciones (Galindo Becerra et al., 2021):	La Norma ISO 14064-2 en la cual se detallan los principios y requisitos para el establecimiento de líneas bases que permitan, hacer seguimiento, cuantificar e informar las emisiones a nivel de proyecto. Se enfoca en proyectos diseñados específicamente para reducir las emisiones y/o aumentar las remociones de GEI. Para la selección del escenario línea base, se identifica lo que hubiese sucedido en ausencia del proyecto, para los casos de estudio de los Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV), se determina como línea base la instalación de Plantas Eléctricas a Diésel (Jiménez Mendoza, 2021). Las directrices de la IPCC 2006, en la cual se agrupan las emisiones en cuatro grandes grupos: Energía, Proceso industriales y uso de productos, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, y Residuos. Para la presente metodología se tomó la agrupación de Energía y dentro del mismo se selecciona el	-La inclinación del panel solar fotovoltaico que se determinó para la descarga de irradiación en el PVGIS, en la presente metodología, fue de 20° a partir de un análisis bibliográfico en el que estableció que esta era la más óptima para la obtención de la energía solar a nivel internacional. Sin embargo, a partir de un extenso análisis bibliográfico y de las memorias de cálculo de los proyectos, pude determinar que un angulo de 10° es el apropiado para los SISFV en Colombia. - No se consideran pérdidas durante la captación de energía ni por el resto del sistema conformado por un regulador o controlador de carga, un sistema de acumulación y un inversor. -El tipo de plantas diésel que se seleccionaban para determinar las emisiones emitidas o evitadas por la implementación de un SISFV, no se tomaba en consideración si estas plantas eran monofásicas, trifásicas o bifásicas, las cuales se diferencian entre sí por la cantidad de fases, corrientes de fases y el voltaje que maneja cada una.	+Para este cálculo se realizó un inventario de información de generación de energía por proyecto, para ello se tuvo en cuenta que no es posible realizar el caculo con los factores de emisión estipulados a nivel nacional los cuales tienen como enfoque el Sistema Interconectado Nacional. +Es una metodología muy completa a la cual se le atribuye su exactitud y correcto análisis del componente ambiental y eléctrico gracias a la combinación de conocimientos de los dos pasantes de la carrera de ingeniería electricista y ambiental, respectivamente. Adicionalmente, tienen una metodología la cual está respaldada por datos nacionales de la UPME y está fundamentada por: La Norma ISO 14064-2 y las directrices de la IPCC 2006.

Cuantificación de emisiones emitidas de proyecto con sistema alimentado por combustible Diésel: Para el cálculo de generación se considera la potencia total de los sistemas y las horas de uso diario los cuales son 12 horas, según el Centro de Monitoreo Nacional-CNM, con el fin de obtener la generación de energía diaria, mensual y anual (Galindo Becerra et al., 2021). Generación de energía diaria= Potencia total (KW)*Horas de uso diario (h) (8) Generación de energía anual= Generación de energía mensual *365 (9) En cuanto al cálculo del factor de emisión de CO₂-eq de combustibles fósiles, se hizo uso de la fórmula desarrollada por la UPME utilizada por las pasantes del 2021-I (Natalia Osorio Camargo y Sandra Valentina Alvarez Bermúdez), para lo cual se hizo uso de la siguiente formula (Galindo Becerra et al., 2021): $FE_{combustible} = FECOC * LHV * \rho * fc$ (5)	volumen (2), referente a emisiones por combustión estacionaria, para el cálculo de emisiones en los casos de estudio de generación de energía en Plantas Eléctricas a Diésel. Este último volumen, describe los métodos y datos necesarios para estimar las emisiones procedentes de la combustión estacionaria y las categorías en las cuales deben declararse estas emisiones sobre la base de tres niveles, para el cual se selecciona el nivel 2 (quema del combustible procedente de las estadísticas nacionales de energía y de los factores por defecto de emisión) (Jiménez Mendoza, 2021). La inclinación de los paneles solares para un mejor aprovechamiento del sol está relacionada directamente con la posición del mismo, para lo cual se sugiere colocar los paneles con un grado de inclinación igual a la latitud del lugar, y en caso de que este por debajo de 10°, se debe instalar los paneles con un ángulo de inclinación mínimo de 10° de sur a norte para así garantizar que los paneles se auto-laven con las lluvias (DNP et al., 2020). El cálculo de energía eléctrica producida en un Sistema Solar Fotovoltaico se basa en la energía	En el IPSE el tipo de planta que se utiliza para los sistemas a base de planta diésel o los sistemas híbridos son trifásicos debido a que se considera como el más eficiente e incurre en una menor cantidad de perdidas, ya que se disminuye la corriente de línea al dividir la potencia de la instalación en tres, adicionalmente este tipo de instalaciones deben de ser utilizadas en proyectos que disponen de motores y grandes equipamientos eléctricos que requieren de una potencia superior a 14,49Kw . -En cuanto a los arboles equivalentes el factor que se definió para este fin es muy amplio, debido a que la cantidad de CO₂-eq que un árbol es capaz de almacenar depende de la especie del árbol, las condiciones ambientales de crecimiento, la edad y la densidad específica de la madera. Por lo tanto, para lograr hacer una compensación apropiada o estimar de forma más aproximada los arboles equivalentes a las emisiones CO₂-eq evitadas, se requiere hacer un estudio en campo. -Para esta metodología se realizó un informe técnico en el que se explicaba cómo se debían de realizar los cálculos, sin embargo, este informe no es totalmente claro lo cual dificulta su replicación en la entidad y de las autoridades ambientales que requiera validar los datos obtenidos o la	+Para el cálculo de emisiones se considera una línea base de plantas de generación de energía con motor diésel, para la determinación de emisiones evitadas. Al tomar proyectos de sistemas solares fotovoltaicos, determinar su generación energética y establecer cuanto se hubiese emitido de haber instalado en su lugar plantas de generación eléctrica diésel. + Se calculan proyectos híbridos, a base de motores diésel y de sistemas solares fotovoltaicos.
---	--	---	--

Donde: • FE combustible: Es el factor de emisión dependiendo de cada tipo de combustible. • FECOC: Factor de emisión de emisión de los combustibles colombianos de la UPME (kg CO₂eq /TJ) • LHV: Se refiere al poder calorífico interior del combustible, obtenido a partir del UPME. • ρ: Densidad del combustible. • Fc: Factor de conversión de unidades. En la Tabla 2, se especifican cada una de las características del diésel genérico colombiano determinados por la UPME, cabe resaltar que para el caso de la densidad se utilizaron los datos suministrados por el Sistema de Gestión de Emisiones Atmosféricas (SIGEA) de Ecopetrol. VER TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE DIÉSEL GENÉRICO COLOMBIANO Debido a que se requiere un factor de conversión capaz de expresar las unidades en (Gal/MWh), que representa el gasto de combustible por unidad de energía, se realiza la búsqueda de fichas técnicas de plantas diésel que proporciona cada fabricante, con la finalidad de	primaria disponible es decir la irradiación solar, las ganancias lo cual se refiere a la energía captada que se ve incrementada por el plano de incidencia y las pérdidas que se van produciendo en el sistema hasta el punto de interconexión con la red, última característica que no se tomó en cuenta en la presente metodología (CREG, 2019). Inicialmente debemos considerar los factores que pueden afectar la captación de energía solar de los paneles, tomando como base que estos poseen una estructura fija orientada al sur e inclinada en su grado óptimo (CREG, 2019): Perdidas por sombreado (Kfs): Para lo cual se consideran sombras externas que se pueden producir sobre el panel como árboles, líneas de tendido eléctrico, montañas, entre otros (CREG, 2019). Kfs=0,995. Perdidas por irradiación en el panel (Kirr): Depende de la transmisión y reflexión del cristal lo cual es resultante del tipo de vidrio utilizado, y lo directa o no que es la irradiación sobre el módulo (CREG, 2019). Kirr=0,964 Perdidas por temperatura (Kt): La potencia de los módulos	metodología en su totalidad, por lo tanto, se requiere una línea base en la cual se especifique el paso a paso para la realización del cálculo.	
--	---	--	--

determinar el consumo de combustible de la máquina (Galindo Becerra et al., 2021). Una vez determinado el factor de conversión para cada tipo de máquina, se puede emplear la ecuación (5), con la finalidad de obtener el factor de emisión. Luego de obtener el factor de emisión del tipo de combustible, se emplea la ecuación (6) con el fin de calcular las emisiones del sistema (Galindo Becerra et al., 2021). 2.Cuantificación de emisiones evitadas de proyectos con Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV): Partiendo de la premisa de que los Sistemas Solares Fotovoltaicos-SSFV no emiten gases de efecto invernadero, se establece una línea base en la que se considera los gases que son evitados por la implementación de estos sistemas energéticos de energías renovables en lugar de un sistema de generación de energía con combustibles fósiles (Galindo Becerra et al., 2021). Para calcular la estimación de generación de energía de los sistemas solares fotovoltaicos, se plantea mediante la metodología del procesamiento de datos de irradiación, según las coordenadas geográficas de instalación. Esta	fotovoltaicos es dependiente de la temperatura ambiente ya que entre más alta sea esta mayor pérdida se presentarán, para lo cual se hizo un estudio con 7 ubicaciones en Colombia Cundinamarca, Antioquia, Itango, Cali, Casanare, Barranquilla y Cesar, y tomando el peor mes del año bajo las peores condiciones de panel, se determinó un coeficiente de, Kt: 0,91 (CREG, 2019). Perdidas por suciedad (Ks): Este parámetro depende de la suciedad que se acumula con el tiempo sobre el modulo, este factor es un valor fijo de: Ks=0,97 (CREG, 2019). Perdidas por dispersión (Kd): Cada módulo tiene un punto de máxima potencia denominada MPP, sin embargo, cuando los módulos son conectados entre sí en serie y luego en paralelo la curva I/V (Corriente/Voltaje) de cada módulo no coincide con este valor MPP, lo que significa una pérdida de eficacia del módulo, que se representa en Kd=0,98 (CREG, 2019).		
--	---	--	--

irradiación es obtenida de la página europea “PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM”, la cual, permite calcular la energía generada por panel, multiplicando dicho valor por la capacidad de potencia del mismo, que se obtiene de las fichas técnicas de los paneles solares instalados (Galindo Becerra et al., 2021). En la página Europea “Photovoltaic Geographical Information System”- PVGIS, los pasos que se deben realizar para determinar la irradiación solar que obtiene un panel son los siguientes (Galindo Becerra et al., 2021): - Ingresar las coordenadas de Latitud y Longitud en coordenadas decimales. - Para la obtención de datos promedio diarios de irradiación para cada mes se debe dar clic en hora local y en la opción de plano fijo con irradiación, con una inclinación del panel de 20° y un Azimut de 0°. - Descargar los datos en formato csv, para cada uno de los meses y seleccionar. Una vez obtenido cada uno de los meses de irradiación se procedió a diligenciar la Tabla 4: VER TABLA (7) DE IRRADIACIÓN OBTENIDA EN PGIS	Perdidas Óhmicas (Kohm): Perdidas energéticas originadas por las caídas de tensión cuando una corriente circula por un conductor de un material y sección determinados. Kohm: 0,985 (CREG, 2019). Rendimiento energético de los paneles de Kfs*Kirr*Kt*Ks*Kd*Kohm = 0,81 (11) Lo cual corresponde a la teoría ya que las instalaciones fotovoltaicas eficientes alcanzan un coeficiente de rendimiento de hasta el 80%, lo cual representa la proporción de energía que realmente está disponible después de haber sufrido pérdidas energéticas y el consumo propio para la operación (Espitia González, 2020). Aunque el panel solar fotovoltaico tiene la capacidad de capturar la luz solar y provocar que los electrones que hay en las células de silicio liberen energía que pasa a ser electricidad, por si solos no son capaces de distribuir la energía a los hogares es por ello que necesitan estar conformados por un sistema el cual puede estar conectado a una red eléctrica o ser autónomos. Los Sistemas		
--	---	--	--

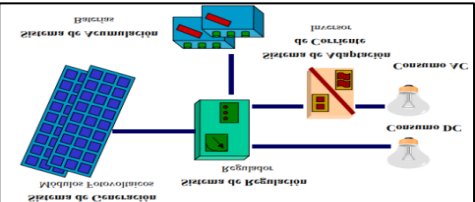
Después de obtenidos los datos de irradiación, se realiza el cálculo de generación de energía según la irradiación y la capacidad de potencia por panel como se indica en la **Tabla 5**, con el fin de que una vez se tenga la generación energética por cada panel este dato pueda ser pasado al mes, posteriormente al año y finalmente a la generación instalada de todo el proyecto multiplicando el valor por la totalidad de los paneles (Galindo Becerra et al., 2021).

VER TABLA (8) DE GENERACIÓN ENERGÉTICA DE LOS PANELES

Una vez obtenido el valor de generación total del proyecto al año, se procede a realizar el cálculo de equivalencia entre la generación de energía por sistemas fotovoltaicos y plantas eléctricas, ya que en términos técnicos la generación no es continua con paneles solares, por lo que se debe hacer una equivalencia de energía de AC a DC. (Galindo Becerra et al., 2021). Para lo cual se procedió a obtener el dato de generación por hora más alto comparando cada uno de los meses, dato el cual permite realizar la búsqueda de una planta eléctrica con una potencia similar hallada y se realiza el cálculo de esta línea base mediante el procedimiento descrito en la cuantificación de emisiones

Fotovoltaicos Autónomos –SFA, son implementados en lugares de poco desarrollo industrial, poco accesible y remotos, lo cual lo hace perfecto para las ZNI. Estos sistemas están conformados por un regulador o controlador de carga, un sistema de acumulación y un inversor, como podemos ver en la figura 3.

FIGURA 1. SISTEMA FOTOVOLTAICO



AUTÓNOMO

Fuente: Ruiz Pinzón, 2021.

Los reguladores o control de carga tienen como función proteger las tecnologías acumuladoras como las baterías de posibles sobrecargas eléctricas que se pueden generar por el panel solar y/o por descargas profundas generadas durante la etapa de consumo (Ruiz Pinzón, 2021).

Los sistemas de acumulación, como las baterías tienen la capacidad de almacenar la energía producida en el sistema fotovoltaico para suministrar energía

para plantas diésel (Galindo Becerra et al., 2021). Finalmente, con los datos de emisiones obtenidos se ejecuta la estimación de la cantidad de árboles equivalentes del proyecto solar por el remplazo de una planta diésel a una con energía renovables, y los arboles necesarios para compensar las emisiones de las plantas eléctricas instaladas. Tomando como base que un árbol aproximadamente capta entre 10 y 30 kg de CO₂-eq al año, se realiza el cálculo con el promedio el cual es 20 kg de CO₂-eq (10) (Galindo Becerra et al., 2021): $\frac{\text{Ton CO}_2 \text{ evitadas por proyecto}}{0,02 \text{ ton CO}_2} = \text{Árboles equivalentes SSFV}$ (10)	constantemente (Ruiz Pinzón, 2021). Los inversores son los responsables de transformar la energía eléctrica producida por el panel solar en DC o corriente continua a energía AC o corriente alterna, la cual es la electricidad que es capaz de fluir por las líneas eléctricas y es la que normalmente encontramos en los enchufes de las paredes de los hogares (Ruiz Pinzón, 2021). Por lo tanto, para tener certeza de la generación energética real de la instalación es importante considerar las pérdidas para estos tres elementos del sistema energético, para lo cual se tomaron los datos del porcentaje de eficiencia de cada uno a partir de las fichas técnicas que se encuentran en las memorias de cálculo, para ello se tomaron los datos de 10 de los 28 proyectos analizados en el presente documento, a partir de lo cual se obtuvo que todas las baterías y controladores utilizados en los 10 proyectos tienen un coeficiente de eficiencia energética (KBAT) del 95% y (KCONT) del 98% respectivamente, siendo el inversor (KINV) el único en el que se presentaron variedad de datos de		
--	--	--	--

	90%, 92% y 95%, para un promedio de 91,2%. <i>Rendimiento energético de los paneles * KBAT * KCONT * KINV = Rendimiento energético total del sistema</i> <i>0.81 * 0.95 * 0.98 * 0.912 = 0.69</i> (11) Es decir que el rendimiento energético del sistema es de 69% con un total de pérdidas del 31%.		
--	--	--	--

Fuente: Autor (2022) tomando como base, Jiménez Mendoza, et al(2021), Galindo Becerra et al., (2021), Ruiz Pinzón (2021), Espitia González (2020) & DNP et al., (2020)

Línea Base

A partir de la metodología seleccionada de los practicantes del segundo semestre del 2021 Natalia Jiménez y Edwin Galindo como la más acertada, se llevó a cabo la corrección sobre la misma a partir del análisis teórico y de cálculos. Con lo cual se busca lograr el establecimiento de una línea base estandarizada a nivel IPSE y nacional, la cual este definida paso a paso para que se facilite la réplica de estos cálculos en una futura oportunidad.

I. Primer Paso:

Ingresa a la página web PVGIS tool y digita los datos de las coordenadas en formato decimal, posterior a ello seleccionar el botón “GO!”, y asegurarse que el mapa indique la zona en la que se realizó o se está realizando el proyecto seleccionado. Dirigirse a “Daily Data” y asegurarse que la base de datos de la cual se obtendrá la irradiación solar sea “PVGIS-NSRDB” y seleccionar el mes de enero (repetir con cada uno de los meses). En la opción de “On fixed plane o sobre plano fijo” se asegura el cálculo de la irradiación de un colector plano en forma, directa, difusa y global por lo tanto en este segmento seleccionamos la opción “Irradiance”, en lugar de “Clear-sky irradiance”, debido a que esta segunda opción se refiere a la máxima obtención posible del recurso sol disponible. Seguido a ello seleccionamos una inclinación del panel o “Slope” de 10° y un Azimuth de 0° . De la selección “On sun-tracking plane”, no se debe seleccionar ninguna opción ya que los sistemas instalados en el IPSE no son del tipo que sigue el sol a medida que este se mueve durante el día. Finalmente, seleccionamos la opción de CSV para descargar los datos en Excel para su posterior análisis, podemos observar el paso a paso de lo descrito anteriormente en la Figura 4.

FIGURA 2. DESCRIPCIÓN PASO A PASO DEL USO DE LA HERRAMIENTA PVGIS

The screenshot displays the PVGIS web interface. At the top, the header reads 'PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM'. Below the header, there's a navigation bar with links: Home, Tools, Downloads, Documentation, and Contact us. The main area is divided into a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows a location near Puerto Libertador. The configuration panel includes fields for 'Cursor' (Selected: 7.900, -75.667), 'Elevation (m): 55', and 'PVGIS ver: 5.2'. It also has a 'Use terrain shadows' section with a checked 'Calculated horizon' option. The 'AVERAGE DAILY IRRADIANCE DATA' section contains dropdowns for 'Solar radiation database' (set to 'PVGIS-NSRDB'), 'Month' (set to 'January'), and 'Time' (set to 'Local time'). There are checkboxes for 'On fixed plane' (checked) and 'On sun-tracking plane'. Input fields for 'Slope [°]' (set to 10) and 'Azimuth [°]' (set to 0) are present. At the bottom, there are buttons for 'Visualize results', 'Download', and 'Join'.

Fuente: Autor,2022

Es importante mencionar en este paso un error que pude observar en la herramienta mencionada, las coordenadas las cuales sean de la región del pacifico colombiano que se encuentran muy cercanas al océano pacifico como lo son Nariño-Tumaco, al descargar el CSV las horas de puesta y salida del sol no coinciden con las que se obtienen en Colombia, en las cuales la salida es aproximadamente a las 6 am y la puesta a las 6 pm. Para ello se debe seleccionar las coordenadas de una zona del mismo departamento alejada del océano, en este caso puede ser pasto, y seleccionar las horas de salida y puesta del sol para de esta forma copiar y pegar los datos en un Excel, correctamente como podemos observarlo en la Figura 5.

FIGURA 3. CORRECCIÓN SALIDA Y PUESTA DEL SOL EN ALGUNAS ZONAS DE LA REGIÓN PACÍFICA

Nariño-Tumaco		Nariño-Pasto		Nariño-Tumaco	
Lat/Long: 1,800/-78,750		Lat/Long: 1,2/-77,267		Lat/Long: 1,800/-78,750	
time(UTC-9999)	Irradiance	time(UTC-5)	Irradiance		
-9975:00	0.0	0:00	0.0	0:00	0.0
-9974:00	0.0	1:00	0.0	1:00	0.0
-9973:00	0.0	2:00	0.0	2:00	0.0
-9972:00	0.0	3:00	0.0	3:00	0.0
-9971:00	0.0	4:00	0.0	4:00	0.0
-9970:00	0.0	5:00	0.0	5:00	0.0
-9969:00	0.0	6:00	0.0	6:00	0.0
-9968:00	0.0	7:00	82.84	7:00	43.48
-9967:00	0.0	8:00	252.97	8:00	154.76
-9966:00	0.0	9:00	424.52	9:00	283.61
-9965:00	0.0	10:00	539.45	10:00	419.38
-9964:00	0.0	11:00	597.38	11:00	521.82
-9963:00	43.48	12:00	601.1	12:00	582.67
-9962:00	154.76	13:00	590.54	13:00	652.9
-9961:00	283.61	14:00	522.88	14:00	643.82
-9960:00	419.38	15:00	425.82	15:00	558.12
-9959:00	521.82	16:00	312.19	16:00	383.9
-9958:00	582.67	17:00	186.09	17:00	215.7
-9957:00	652.9	18:00	14.39	18:00	38.87
-9956:00	643.82	19:00	0.0	19:00	0.0
-9955:00	558.12	20:00	0.0	20:00	0.0
-9954:00	383.9	21:00	0.0	21:00	0.0
-9953:00	215.7	22:00	0.0	22:00	0.0
-9952:00	38.87	23:00	0.0	23:00	0.0

Fuente: Autor,2022

II. Segundo Paso:

Una vez descargados los datos en CSV para Excel, debemos de organizar los mismos ya que todos aparecen mezclados en una columna. Para ello nos debemos dirigir a la pestaña Datos, Herramienta de datos, texto en columnas y debemos de seguir los pasos 1 a 3 que se muestra en la Figura 6.

FIGURA 4. PASO A PASO PARA CONVERTIR TEXTO EN COLUMNAS

Paso 1
Asistente para convertir texto en columnas - paso 1 de 3
El asistente estima que sus datos son Delimitados.
Si esto es correcto, elija Siguiente, o bien elija el tipo de datos que mejor los describa.
Tipo de los datos originales:
Elija el tipo de archivo que describa los datos con mayor precisión:
☒ Delimitados - Caracteres como comas o tabulaciones separan campos.
☐ De ancho fijo - Los campos están alineados en columnas con espacios entre uno y otro.
Vista previa de los datos seleccionados:
Latitude
Longitude
Radiation
Results
Cancelar < Atrás Siguiente > Finalizar

Paso 2
Asistente para convertir texto en columnas - paso 2 de 3
Esta pantalla le permite establecer los separadores contenidos en los datos. Se puede ver cómo cambia el texto en la vista previa.
Separadores:
☒ Tabulación
☒ Punto y coma
☐ Coma
☒ Espacio
☐ Otro:
☒ Considerar separadores consecutivos como uno solo
Calificador de texto:
Vista previa de los datos:
Latitude
Longitude
Radiation
Results
Cancelar < Atrás Siguiente > Finalizar

Paso 3
Asistente para convertir texto en columnas - paso 3 de 3
Esta pantalla permite seleccionar cada columna y establecer el formato de los datos.
Formato de los datos en columnas:
☒ General
☐ Texto
☐ Fecha: DMA
☐ No importar columna (saltar)
'General' convierte los valores numéricos en números, los valores de fechas en fechas y todos los demás valores en texto.
Avanzadas...
Destino: SAS1
Vista previa de los datos:
General
Latitude
Longitude
Radiation
Results
Cancelar < Atrás Siguiente > Finalizar

Fuente: Autor,2022

Una vez pasemos el texto a columnas obtendremos una tabla como se puede observar en la Figura 7, a partir de la cual debemos de tomar los datos de tiempo y G(i) o Irradiación Global sobre un plano (W/m2), lo cual es el resultado de la suma de Gb(i) Irradiación directa sobre un plano y Gd(i) Irradiación difusa sobre un plano.

FIGURA 5. DATOS OBTENIDOS EN EL PVGIS DISTRIBUIDO EN COLUMNAS

Latitude (decimal degrees):	1.200			
Longitude (decimal degrees):	-77.267			
Radiation database:	PVGIS-NSRDB			
Results for:	January			
Slope of plane (deg.):	10			
Azimuth (orientation) of plane (time(UTC-5))	0			
	0:00	G(i)	Gb(i)	Gd(i)
	1:00	0.0	0.0	0.0
	2:00	0.0	0.0	0.0
	3:00	0.0	0.0	0.0
	4:00	0.0	0.0	0.0
	5:00	0.0	0.0	0.0
	6:00	0.0	0.0	0.0
	7:00	82.84	40.65	42.08
	8:00	252.97	143.59	109.03
	9:00	424.52	237.95	185.97
	10:00	539.45	268.25	270.41
	11:00	597.38	267.83	328.66
	12:00	601.1	243.66	356.55
	13:00	590.54	231.63	358.03
	14:00	522.88	186.02	336.09
	15:00	425.82	163.81	261.38
	16:00	312.19	137.98	173.75
	17:00	186.09	102.17	83.67
	18:00	14.39	0.0	14.37
	19:00	0.0	0.0	0.0
	20:00	0.0	0.0	0.0
	21:00	0.0	0.0	0.0
	22:00	0.0	0.0	0.0
	23:00	0.0	0.0	0.0

Fuente: Autor,2022

III. Tercer Paso:

Mediante la recopilación de los datos de irradiación de cada mes de la zona del proyecto determinada, procedemos a organizar los mismos en una tabla en Excel, como se muestra a continuación:

TABLA 7. DATOS DE IRRADIANCIA OBTENIDOS EN EL PVGIS.

TABLA I. DATOS DE IRRADIANCIA OBTENIDOS DE JRC												
HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	1,04	6,94	5,86	0,59	0	0	3,06	0	0
7:00	86,73	78,92	81,26	99,68	104,87	98,85	87,09	81,92	104,53	132,19	134,02	110,84
8:00	281,31	260,43	238,43	254,82	258,79	245,19	241,72	227,8	266,37	320,17	328,25	295,55
9:00	473,83	453,38	411,83	430,15	420,04	412,91	421,12	410,96	452,42	510,9	509,29	480,84
10:00	651,97	613,16	581,93	584,33	562,97	560,98	578,31	569,75	616,57	649,73	645,24	619,77
11:00	771,17	754,14	694,58	698,86	658,9	648,56	686,23	691,16	698,87	732,82	729,98	708,74
12:00	791,18	787,97	752,33	748,23	687,77	697,78	712,13	729,37	731,18	747,94	755,39	746,65
13:00	761,33	770,31	730,55	729,43	655,67	667,77	710,65	724,55	704,97	712,72	713,54	714,78
14:00	684,36	695,79	650,48	632,17	584,95	621,96	648,82	673,28	638,9	632,6	612,91	646,1
15:00	559,86	562,85	514,6	479,37	439,5	474,23	525,69	547,56	509,33	477,01	464,97	502,27
16:00	368,99	375,07	324,06	298,28	268,85	320,6	357,31	359,38	318,28	284,26	268,91	308,71
17:00	185,89	202,94	164,96	132,51	121,48	153,86	176,61	169,27	137,16	104,45	96,4	128,85
18:00	0,14	1,13	0,98	0,62	0,9	19,85	42,97	12,13	0,25	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor, 2022

IV. Cuarto Paso:

Para determinar la generación energética de los paneles a partir de la irradiación debemos efectuar las siguientes ecuaciones:

Sección amarilla:

$$\text{Generación por panel hora (kWh)} = \frac{\text{Capacidad panel (Wp)} * \text{Irradiación } \left(\frac{W}{m^2} \right)}{1000}$$

Sección azul:

$$\text{Generación por panel - día (kwh)} = \frac{\sum \text{Generación panel hora en el mes}}{1000}$$

Sección verde:

Generación instalación día de todo el sistema (kWh) =
Generación por panel – día(kWh) * Número de paneles

TABLA 8. GENERACIÓN ENERGÉTICA POR PANEL

TABLA II. DATOS DE GENERACIÓN POR PANEL												
HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0,416	2,776	2,344	0,236	0	0	1,224	0	0
7:00	44,336	31,568	32,504	39,872	41,948	39,54	34,836	32,768	41,812	52,876	53,608	44,336
8:00	118,22	104,172	95,372	101,928	103,516	98,076	96,688	91,12	106,548	128,068	131,3	118,22
9:00	192,336	181,352	164,732	172,06	168,016	165,164	168,448	164,384	180,968	204,36	203,716	192,336
10:00	247,908	245,264	232,772	233,732	225,188	224,392	231,324	227,9	246,628	259,892	258,096	247,908
11:00	283,496	301,656	277,832	279,544	263,56	259,424	274,492	276,464	279,548	293,128	291,992	283,496
12:00	298,66	315,188	300,932	299,292	275,108	279,112	284,852	291,748	292,472	299,176	302,156	298,66
13:00	285,912	308,124	292,22	291,772	262,268	267,108	284,26	289,82	281,988	285,088	285,416	285,912
14:00	258,44	278,316	260,192	252,868	233,98	248,784	259,528	269,312	255,56	253,04	245,164	258,44
15:00	200,908	225,14	205,84	191,748	175,8	189,692	210,276	219,024	203,732	190,804	185,988	200,908
16:00	123,484	150,028	129,624	119,312	107,54	128,24	142,924	143,752	127,312	113,704	107,564	123,484
17:00	51,54	81,176	65,984	53,004	48,592	61,544	70,644	67,708	54,864	41,78	38,56	51,54
18:00	0	0,452	0,392	0,248	0,36	7,94	17,188	4,852	0,1	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Generación por panel-día (kW/h)	2,10524	2,222436	2,058396	2,035796	1,908652	1,97136	2,075696	2,078852	2,071532	2,12314	2,10356	2,10524
Generación instalación día (kW/h)	227,3659	240,0231	222,3068	219,866	206,1344	212,9069	224,1752	224,516	223,7253	229,2991	227,1843	227,3659

FUENTE: AUTOR,2022

V. Quinto Paso:

Con el fin de desarrollar una línea base que nos permita determinar el tipo de planta diésel a la cual podemos comparar la generación energética del SISFV, debemos llevar a cabo las ecuaciones a continuación, recopiladas en la Tabla 7

Generación día – kWh instalación de todo el sistema
= Datos obtenidos en la sección verde de la Tabla 8 .

Generación mes kWh: Generación día Kwh instalación de todo el sistema
*** Días de cada mes**

Generación hora kWh (Sistema total)

= Generación día Kwh instalación de todo el sistema

*** Horas del día con sol.**

$$\text{Generación Año Kwh} = \sum \text{Generación mes Kwh}$$

TABLA 9. GENERACIÓN ENERGÉTICA

	12	12	12	13	13	13	13	12	13	12	11	11	
TABLA III. LINEA BASE													
Generación Energía (planta diesel) kWh													
Generación-día -kWh instalación todo el sistema	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembr	Diciembre	PROMEDIO
	227,37	240,02	222,31	219,87	206,13	212,91	224,18	224,52	223,73	229,30	227,18	227,37	223,74
Generación - mes - kWh	7048,34	6960,67	6891,51	6595,98	6390,17	6387,21	6949,43	6960,00	6711,76	7108,27	6815,53	7048,34	6822,27
Generación-hora -kWh (Sistema total)	18,94716	20,001924	18,525564	16,91276677	15,85649354	16,37745231	17,2442437	18,709668	17,2096505	19,10826	20,65313	20,66962909	18,35
GENERACIÓN AÑO KWH	81867,22	kWh/año	81,86721624	MWh/año									

Fuente: Autor,2022

VI. Sexto Paso:

Para determinar el factor de emisión de CO₂-eq del diésel genérico en Colombia, se hizo uso de la formula desarrollada por la UPME con los cálculos de la Tabla 9.

$$FE_{combustible} = FECOC * LHV * \rho * fc$$

TABLA 10 CARACTERÍSTICAS DEL DIÉSEL GENÉRICO EN COLOMBIA

TABLA IV. FACTOR DE EMISIÓN PARA EL DIÉSEL						
TIPO DE COMBUSTIBLE	COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN (kg CO ₂ eq/ TJ)	PODER CALORIFICO (MJ/kg)	DENSIDAD (kg/m ³)	FACTOR DE EMISIÓN (kg CO ₂ eq/ Gal)	FACTOR DE EMISIÓN (ton CO ₂ eq/ Gal)
Líquido	Diésel genérico	73920	42,67	869,94	10,39	0,01039

Fuente: Autor,2022

VII. Séptimo Paso:

Tomamos el dato más alto de Generación-hora-kWh (sistema total) de la Tabla 9,, en este caso sería 20,669 kWh es el que utilizaremos para buscar una ficha técnica de un generador diésel trifásico con una potencia similar. Para este caso podemos

observar en la Figura 8 se seleccionó el modelo GGP-25 con una potencia prime (motor trabajando todo el día) 23 kVA el cual tiene un consumo de 9 L/H cuando está al 100% de la carga.

FIGURA 6. FICHA TÉCNICA PLANTA DIÉSEL TRIFÁSICA

GERAFORTE

GRUPOS GERADORES

GRUPOS GERADORES À DIESEL

MOTOR

- MOTORES DE INJEÇÃO DIRETA
- ABASTECIDOS COM ÓLEO LUBRIFICANTE E LÍQUIDO ARREFECIMENTO NO RADIADOR
- AMORTECEDORES DE VIBRAÇÃO ENTRE A MÁQUINA E A BASE E ENTRE A BASE E O PISO
- FLEXÍVEL DE INOX
- BATERIA COM GARANTIA NACIONAL LIVRE DE MANUTENÇÃO
- HÉLICE DO RADIADOR TOTALMENTE PROTEGIDA
- TANQUES EM POLIETILENO, AÇO CARBONO, ENTRE OUTROS CONFORME DEMANDA
- PRÉ AQUECIMENTO CONTROLADO POR TERMOSTATO
- CERTIFICADO NR12 / NR10
- ESPECIFICAÇÕES DE POTÊNCIA PARA USO ATÉ 2000m DE ALTITUDE CONFORME ISO9046... CONSULTE NOSSO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA PARA OUTRAS APLICAÇÕES

ALTERNADOR

- BRUSHLESS(SEM ESCOVAS)
- IP21 OU IP23 CONFORME MODELO
- FATOR DE POTÊNCIA 0,8
- RECONECTÁVEL PARA 220/127V, 380/220V, 440/254V OU 480/277V
- CLASSE DE SOLAMENTO – H (180°C)
- REGULADOR DE TENSÃO ELETRÔNICO
- THD<5% À VAZIO
- IEC60094-1
- ABNT 5410

DEFINIÇÃO DE POTÊNCIAS (ISO 8528)

Stand-by: Disponível para o fornecimento de energia elétrica em emergência, com carga variável em áreas com redes elétricas bem estabelecidas no caso de falha normal de energia de rede elétrica. (Nenhuma capacidade de sobrecarga está disponível para esta classificação. Limite de operação 500 horas/ano.)

Prime: Dimensionado para operações de cargas variáveis em serviços programados e / ou serviços de emergência. Nesta operação o equipamento suporta sobrecarga de 10 % durante 01 hora a cada 12 horas. Uso recomendado 1000 horas / ano.

COP: Aplicável ao fornecimento de energia elétrica a uma carga constante de 100% para um número limitado de horas por ano. Nenhuma capacidade de sobrecarga está disponível para esta classificação.

MOD GMG	MODELO MOTOR	60Hz trifásico			50Hz trifásico			POT. (CV) 60HZ	C I L I N D R O	CONSUMO L/H (60HZ) 100% DE CARGA EM STAND BY	DIMENSÕES GMG ABERTO (TOL ±5%)					TENSÃO BAT. (VCC)	BATERIA	CARREG. DE BATERIA (GMG AUT)	REG. VELOCIDADE PADRÃO	VOL. CARTER (L) ÓLEO LUB	ÓLEO LUBRIFICANTE	VOLUME RADIADOR (L)
		STAND BY	PRIME	COP	STAND BY	PRIME	COMP. (mm)				LARG. (mm)	ALT. (mm)	TANQUE E AUTONOMIA	PESO (kg)								
GGP-25	404D-22G	25	23	17,5	22	20	33	4	9	1600	750	1100	100L / 20H	550	12	1 X 100 A/h	12V – 3A	MECANICO	10,6	15W40 –APICG4	7	
GGP-40	1103-33G	40	36	28,8	33	30	50	3	9,5	1700	930	1650	100L / 12H	700	12	1 X 100 A/h	12V – 3A	MECANICO	7,9	15W40 –APICG4	10,2	
GGP-55	1104A-44G	55	50	38,8	52	47	71	4	13,9	1710	930	1650	100L / 9H	760	12	1 X 100 A/h	12V – 3A	MECANICO	8,0	15W40 –APICG4	13	

Fuente: Geraforte,2020

Posteriormente nos disponemos a completar la tabla de la Tabla 10, para la obtención de la Generación Gal/Mwh, para ello la carga en MWh es el valor más alto de Generación-hora-kWh (sistema total) dividido en 1000, el consumo es el obtenido por la tabla realizando un factor de 3 (si 23 Kva tienen un consumo de 9 L/h, cuanto consume 20,69 Kva), estado dato en L/h lo pasamos a Galones multiplicando por 3,78 y multiplicamos la carga por el consumo para obtener el valor de generación.

TABLA 11. DATOS OBTENIDOS DE LA FICHA TÉCNICA DE LA PLANTA DIÉSEL

FACTORES CONVERSIÓN DE UNIDADES (FACTOR EMISIÓN)				
GENERADOR	CARGA (MWh)	CONSUMO (L/h)	CONSUMO (Gal/h)	GENERACIÓN (Ga/MWh)
Grupo electrogeno Diesel 23KVA (60 Hz) (89,86%)	0,020669629	8,0878	2,14	103,52

Fuente: Autor,2022

VIII. Octavo Paso:

Consideración de las perdidas energéticas en la generación total, en la Figura 9 se observan las constantes de perdidas siendo sombreado, irradiancia en el panel solar, temperatura, suciedad, dispersión y óhmicas las obtenidas en los paneles solares, lo cual se calcula en el “Rendimiento energético de los paneles”, y las constantes de baterías, controlador e inversor off grid, junto con los valores de los paneles, los resultantes del “Rendimiento del sistema”.

FIGURA 7. PERDIDAS DEL SISTEMA

Constante perdidas por	Símbolo			Rendimiento energético de los paneles SFV	
Sombreado	0,995 <i>Kfs</i>			$PRMOD=Kfs*Kirr*Kt*Ks*Kd*Kohm$	0,81
Irradiancia en el panel solar	0,964 <i>Kirr</i>				
Temperatura	0,91 <i>Kt</i>			Rendimiento del sistema	
Suciedad	0,97 <i>Ks</i>			$PRT=PRMOD*KCONT*KBAT*KINV$	0,69
Dispersión	0,98 <i>Kd</i>				
óhmicas	0,985 <i>Kohm</i>				
Baterías	0,95 <i>KBAT</i>				
Controlador	0,98 <i>KCONT</i>				
Inversor off grid	0,912 <i>KINV</i>				

Fuente: Autor,2022

IX. Noveno Paso:

Finalmente, con los datos en los cálculos descritos con anterioridad, podemos dar inicio al cálculo las emisiones evitadas, para ello la Generación de Energía (Kwh/año) es multiplicada por el porcentaje de perdida que nos da la eficiencia real del sistema (0,69) y el resultado obtenido lo disponemos en la celda de Generación de energía con pérdidas (Mwh/año). Después, la Generación (Gal/Mwh), la cual es obtenida en la Tabla 11., es multiplicado por el Factor de emisión (ton CO2eq/Gal), para obtener un factor de emisión con unidades en (ton CO2eq/ Mwh) , para obtener las unidades apropiadas para multiplicar con la Generación de energía con pérdidas Mwh/año y obtener las Emisiones Evitadas CO2-eq (ton CO2eq/año).

TABLA 12. EMISIONES CO2-EQ EVITADAS

TABLA V. EMISIONES							
PORCENTAJE DE PERDIDA (%)	GENERACION DE ENERGÍA (KWh/AÑO)	GENERACION DE ENERGÍA CON PERDIDAS (KWh/AÑO)	GENERACION DE ENERGÍA CON PERDIDAS (MWh/AÑO)	GENERACIÓN (Gal/MWh)	FACTOR DE EMISIÓN (ton CO2 eq/Gal)	FACTOR DE EMISIÓN (ton CO2 eq/MWh)	EMISIONES EVITADAS CO2 (ton CO2 eq/Año)
0,69	81867,22	56488,37921	56,48837921	103,52	0,01039	1,075527372	60,75479802

Fuente: Autor, 2022

→ Para el caso de las plantas diésel o los generadores diésel, se requiere disponer de la información referente a la potencia hora de la planta, la cantidad de plantas requeridas y el número de usuarios. Primero se debe llevar a cabo la Sexta Fase (determinación factor emisión de combustible diésel genérico en Colombia) y la Séptima Fase, con el fin de determinar una línea base al seleccionar una planta diésel trifásica con una potencia similar a la que requiere el proyecto y a partir de este dato encontrar el consumo y el factor de conversión. Una vez completadas estas dos fases, podemos completar los datos de la Tabla 13,, con los siguientes cálculos:

$$1. \frac{Kwh}{Día} = Potencia Total (KW) * Horas de Uso Diario$$

$$2. \frac{KWh}{Mes} = KWh * 30$$

$$3. Generación de Energía total \left(\frac{MWh}{año} \right) = \frac{\frac{Kwh}{día} * 365}{1000}$$

$$4. Factor de emisión diésel \left(\frac{ton CO2eq}{Mwh} \right) = 0,01038 *$$

$$Factor de Conversión \left(\frac{Gal}{Mwh} \right)$$

Estos datos (0,01038

* Factor de Conversión $\left(\frac{Gal}{Mwh} \right)$ los obtenemos de la Sexta y Séptima fase.

$$5. Emisiones CO2 \left(ton CO2 \frac{eq}{Año} \right) = Generación de energía total (MWh) *$$

$$Factor de emisión diésel \left(ton CO2 \frac{eq}{año} \right)$$

TABLA 13. EMISIONES CO2-EQ EMITIDAS

TABLA VI. DIESEL REAL (Toneladas CO2eq EMITIDAS)									
TECNOLOGÍA	USUARIOS	POTENCIA TOTAL (KW)	HORAS DE USO DIARIO	KWh/Día	KWh/Mes	GENERACION DE ENERGÍA TOTAL (MWh/AÑO)	CONSUMO Diésel (Gal/Hora)	FACTOR DE EMISIÓN Diesel (ton CO2 eq/MWh)	EMISIONES CO2 (ton CO2 eq/Año)
DIESEL (PLANTA 1)	156	237,5	12	2.850	85.500	1.040	202,53	0,499	519,4
DIESEL (PLANTA 2)	156	237,5	12	2.850	85.500	1.040	202,53	0,499	519,4
DIESEL (PLANTA 3)	156	237,5	12	2.850	85.500	1.040	202,53	0,499	519,4
DIESEL (PLANTA 4)	156	237,5	12	2.850	85.500	1.040	202,53	0,499	519,4

Fuente: Autor, 2022

Para la determinación de emisiones emitidas y evitadas en proyectos híbridos, se debe poner en practica todas las fases para la obtención de emisiones evitadas en proyectos SISFV y las emisiones emitidas en los proyectos de plantas diésel.

Cálculo de emisiones evitadas y emitidas de los 28 proyectos faltantes

A partir de la elaboración de la línea base mediante la selección de la metodología determinada como la más acertada y la puesta en práctica de las correcciones que se consideraron pertinentes. Se llevó a cabo el cálculo de las emisiones emitidas y evitadas de los proyectos los cuales no habían sido calculados (28), proyectos los cuales podemos observar sus principales características en la Tabla 14. Los cálculos desarrollados en Excel para cada uno de los proyectos pueden ser observados en los anexos 1, 2 y 3.

TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS IPSE

Nº PROYECTO O IPSE	TIPO PROYECTO	PANELES SOLARES	CAPACIDAD POR PANEL (Wp)	PLANTAS DIESEL	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
098 - 2017	SSFV	303	310	-	CORDOBA/PUERTO LIBERTADOR	7,90000	-75,66700

103 - 2017	SSFV	486	260/340	-	MAGDALENA/ARACATACA	10,60000	-74,20000
105 - 2017	SSFV	1248	275	-	VAUPES/MITU	1,25509	-70,23500
107 - 2017	SSFV	2067	285	-	META /PUERTO RICO	2,93300	-73,20000
108 - 2017	SSFV	453	270	-	VICHADA/PUERTO CARREÑO	6,18493	-67,48940
109 - 2017	SSFV	1515	245	-	CHOCÓ/CONDOTO	5,09231	-76,64860
110 - 2017	HÍBRID O	1395	270	4	GUAINIA/INIRIDA	3,86700	-67,91700
111 - 2017	SSFV	1194	270	-	NARIÑO/TUMACO	1,80000	-78,75000
112 - 2017	SSFV	765	245	-	CHOCO/CONDOTO	5,09231	-76,64860
114 - 2017	SSFV	1104	250	-	VAUPES/CARURU	1,01575	-71,29960
116 - 2017	SSFV	600	280	-	BOLÍVAR/ARENAL	8,46700	-73,95000
117 - 2017	SSFV	312	275	-	CESAR/MANAURE BALCÓN DEL CESAR	10,39230	-73,02760
074-2020	SISFV	967	400	-	GUAINIA/INIRIDA	3,867	-67,917
114-2020	HÍBRID O	270	395	6	VICHADA/PUERTO CARREÑO	6,18493	-67,4894
097 - 2021	SISFV	122	370	-	PUTUMAYO/PUERTO ASÍS	0,4969	-76,50096,
097 - 2021	SISFV	108	400	-	CORDOBA/VALENCIA	8,16	.- 76,09
097 - 2021	SISFV	203	400	-	BOLIVAR/ SAN MARTÍN DE LOBA	8,5637	-74,023
146-2021	SISFV	1280	400	-	BOLIVAR/TIQUISIO	8,375091	- 74,173394
141-2021	HIBRID O	153	405	1	GUAINIA/INIRIDA	3,44408	- 67,985763
146-2021	SISFV	330	400	-	DABEIBA/ANTIOQUIA	6,85373072	- 76,500812 76
146-2021	SISFV	62	400	-	CASANARE/SABANALARGA	4,5803	-725905
146-2021	SISFV	78	400	-	CORDOBA/ SAN JOSE DE URE	7,721725	-75,60613
146-2021	SISFV	230	400	-	ANTIOQUIA/ITUANGO	7,4326167	- 75,647958 33
142-2021	SISFV	960	400	-	CESAR/PAILITAS	8,956594	- 73,524975
142-2021	HÍBRID O	222	460	1	CHOCO /NUQUI	5,607993	- 77,361314
142-2021	SISFV	1457	400	-	GUAJIRA/ALBANIA	11,16087	-72,5923
141-2021	SISFV	601	370	-	GUAINIA/SAN FELIPE	1,915401	- 67,075404
141-2021	HÍBRID O	216	405	1	GUAINIA/BARRANCOMINAS	3,493799	- 69,815578
146-2021	SISFV	678	400	-	BOLIVAR /SANTA ROSA SUR	8,151836	- 74,173394

Fuente: Autor,2022

Una vez desarrollado el cálculo con cada una de las fases descritas en el capítulo de “Línea Base”, podemos observar que en todos los 28 proyectos en ejecución se están implementando sistemas de energía renovables, más exactamente de

paneles solares, como resultado de la transición energética en la cual se encuentra Colombia y por ende el IPSE. Entendiendo los beneficios que esto trae consigo, para la ampliación de la cobertura energética en el país tanto para las redes existentes como para las zonas que no poseen este recurso fundamental, entendiendo las ZNI como lugares de muy difícil acceso que dificultan el transporte del combustible y el orden público que en muchas ocasiones incide sobre la distribución del mismo.

Tabla 15. Emisiones por proyecto

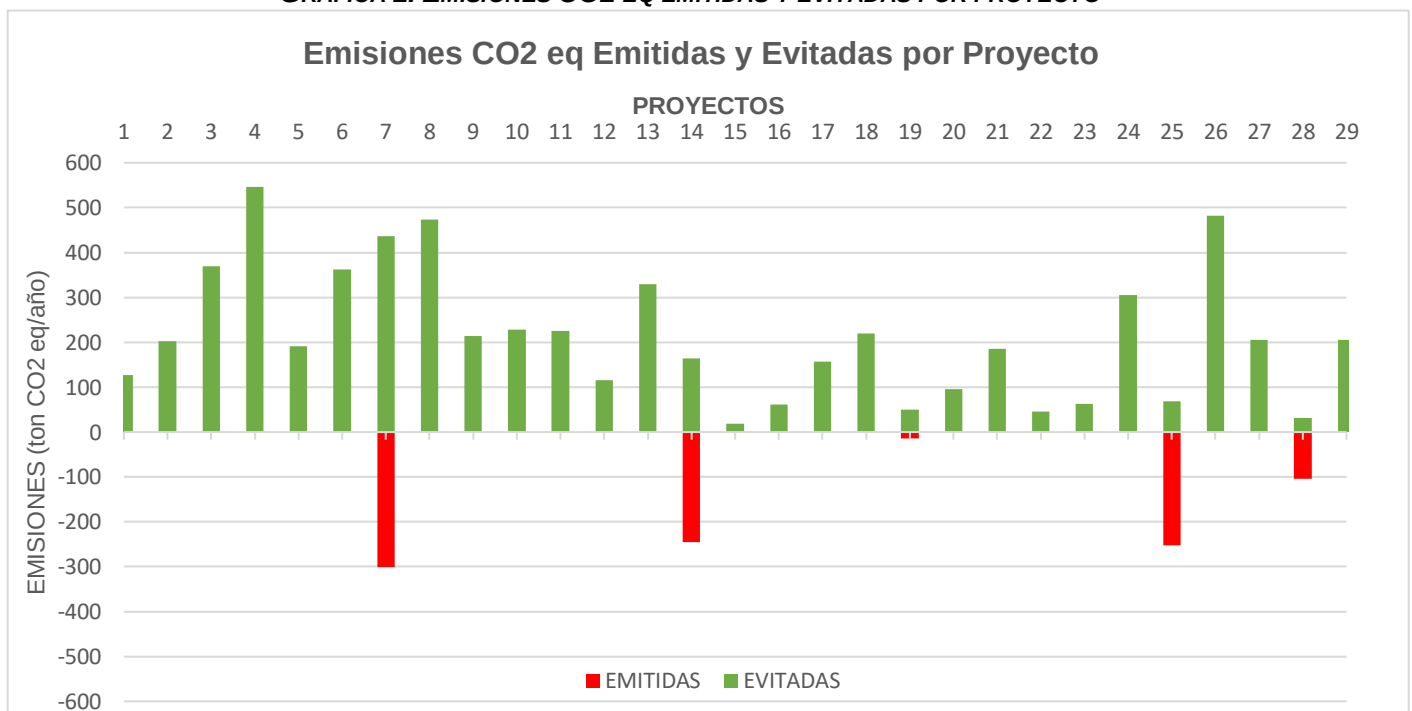
N°	N° PROYECTO IPSE	TIPO PROYECTO	PANELES SOLARES	EMISIONES (ton CO2 eq/año)	
				EMITIDAS	EVITADAS
1	098 – 2017	SSFV	CORDOBA/PUERTO LIBERTADOR	-	126,75
2	103 - 2017	SSFV	MAGDALENA/ARACATACA	-	202,46
3	105 - 2017	SSFV	VAUPES/MITU	-	369,07
4	107 - 2017	SSFV	META /PUERTO RICO	-	546,89
5	108 - 2017	SSFV	VICHADA/PUERTO CARREÑO	-	190,63
6	109 - 2017	SSFV	CHOCÓ/CONDOTO	-	361,79
7	110 - 2017	HIBRIDO	GUAINIA/INIRIDA	301	435,91
8	111 - 2017	SSFV	NARIÑO/TUMACO	-	473,19
9	112 - 2017	SSFV	CHOCO/CONDOTO	-	213,46
10	114 - 2017	SSFV	VAUPES/CARURU	-	228,35
11	116 - 2017	SSFV	BOLÍVAR/ARENAL	-	225,52
12	117 - 2017	SSFV	CESAR/MANAURE BALCÓN DEL CESAR	-	115,85
13	074-2020	SISFV	GUAINIA/INIRIDA	-	330,16
14	114-2020	HIBRIDO	VICHADA/PUERTO CARREÑO	254.4	164,55
15	097 - 2021	SISFV	PUTUMAYO/PUERTO ASÍS	-	18,66
16	097 - 2021	SISFV	CORDOBA/VALENCIA	-	61,10
17	097 - 2021	SISFV	BOLIVAR/ SAN MARTÍN DE LOBA	-	157,17
18	146-2021	SISFV	BOLIVAR/TIQUISIO	-	219,14
19	141-2021	HIBRIDO	GUAINIA/INIRIDA	13,8	50,08
20	146-2021	SISFV	DABEIBA/ANTIOQUIA	-	96,31
21	146-2021	SISFV	CASANARE/SABANALARGA	-	186,13
22	146-2021	SISFV	CORDOBA/ SAN JOSE DE URE	-	45,75
23	146-2021	SISFV	ANTIOQUIA/ITUANGO	-	62,60
23	142-2021	SISFV	CESAR/PAILITAS	-	305,04

24	142-2021	HÍBRIDO	CHOCO /NUQUI	252	68,61
25	142-2021	SISFV	GUAJIRA/ALBANIA	-	481,82
26	141-2021	SISFV	GUAINIA/SAN FELIPE	-	205,57
27	141-2021	HÍBRIDO	GUAINIA/BARRANCOMINAS	103.4	31,50
28	146-2021	SISFV	BOLIVAR /SANTA ROSA SUR	-	205,24
TOTAL				915.6	5974,07

Fuente: Autor,2022

En la Tabla 15, se observa la recopilación de información del anexo 5 a partir de los cual podemos observar que la implementación de paneles solares en lugar de plantas diésel representan una considerable reducción de emisiones, durante la fase de operación de los proyectos, de los 28 proyecto en ejecución se emitieron 915,2 ton CO₂eq/año en los sistemas energéticos híbridos y se evitaron 5.974,07 ton CO₂eq/año en los sistemas energéticos híbridos y de sistemas solares fotovoltaicos,

GRÁFICA 1. EMISIONES CO₂ EQ EMITIDAS Y EVITADAS POR PROYECTO

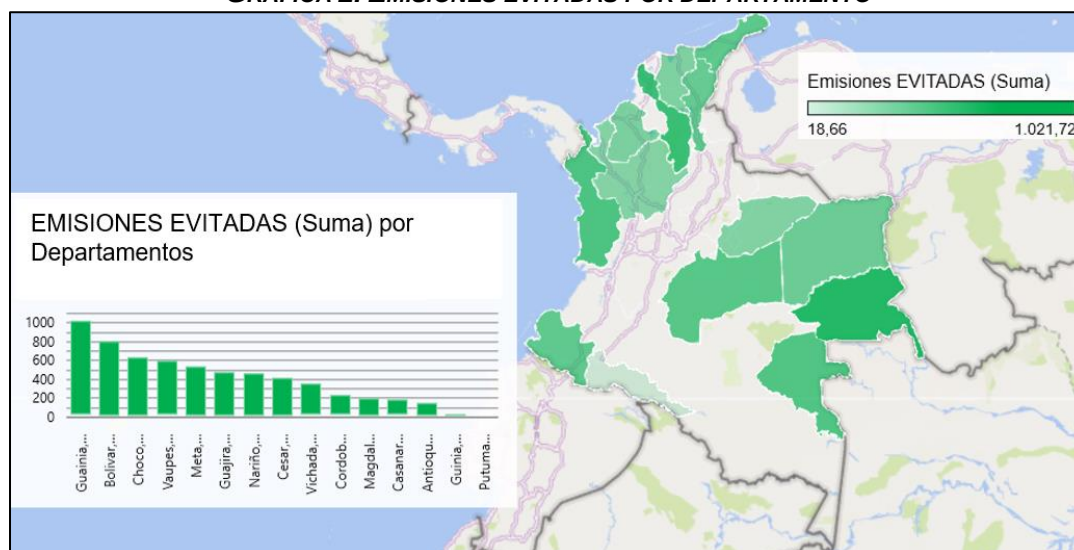


Fuente: Autor,2022

Podemos observar en la Gráfica 1, que los proyectos 4 de Meta/Puerto Rico, 8 de Nariño/Tumaco y 26 de Guainía/ San Felipe, son los proyectos que mayor reducción de emisiones presenta, debido a que son los que están implementando la mayor cantidad de paneles solares y el número de usuarios a los cuales brinda el recurso energía es superior a la de los demás proyectos. También se puede identificar la gran relevancia que tiene la capacidad WP del panel para la generación energética y la radiación solar de la zona geográfica, debido a que, aunque el proyecto 21 Casanare/Sabanalarga posee una totalidad de 62 paneles con una potencia de 400 WP y una radiación promedio mensual de 4.5-5.0 Kwh/m2, el que menor generación presento y por ende una menor cantidad de emisiones evitadas fue el 15 de Putumayo/Puerto Asís, el cual pose 122 paneles de 370 WP y una radiación promedio de 3.0-3.5 Kwh/m2.

Por otro lado, si nos detenemos a analizar los proyectos híbridos podemos observar que para los proyectos 14 (Vichada/Puerto Carreño), 25 (Choco/Nuqui) y 28 (Guainía/Barrancominas), principalmente el 25, en donde la generación energética de los paneles es integrada a plantas diésel para asegurar seguridad y eficiencia energética, podemos identificar que a pesar que se soporta la misma energía son más las emisiones que se generan que las que se evitan.

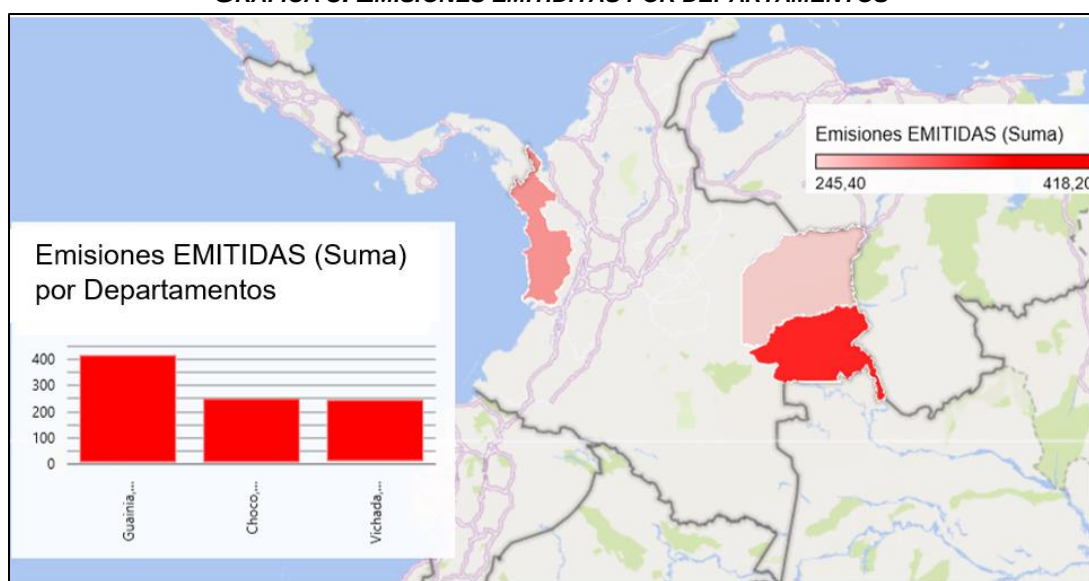
GRÁFICA 2. EMISIONES EVITADAS POR DEPARTAMENTO



Fuente: Autor, 2022

En la Gráfica 2 Se observa que Guainía seguido de Bolívar, son los departamentos en Colombia en donde se han reducido una mayor cantidad de impactos ambientales por Emisiones CO₂eq, gracias a la implementación de paneles solares y/o remplazo de Generadoras diésel por estos sistemas de energía limpia, mejorando la calidad de vida de las personas mientras se les aseguran la satisfacción de sus necesidades energéticas.

GRÁFICA 3. EMISIONES EMITIDAS POR DEPARTAMENTOS



Fuente: Autor, 2022

Finalmente, para la Gráfica 3 podemos observar que, aunque se está brindando el recurso energía a las comunidades, se está generando una afectación en su calidad del aire lo cual puede tener repercusiones en su salud y la salud del ecosistema en el cual se implemente el sistema energético a base Diésel, siendo la Guainía el departamento más afectado, seguido de Chocó y Vichada.

Se debe señalar que actualmente existen muchos proyectos de generación energética con plantas diésel los cuales están en fase de AOM (Administración, Operación y Mantenimiento), es decir que actualmente se encuentran operando bajo la supervisión de un operador de red responsable en la zona. Pero debido a que el IPSE, solo requiere los cálculos de las emisiones de los proyectos en ejecución, es decir que se encuentran en una etapa de mejoramiento de estructura

o construcción de la misma, la visión que se posee es reducida frente al verdadero impacto que se está generando.

Comparación error obtenido con PVsyst

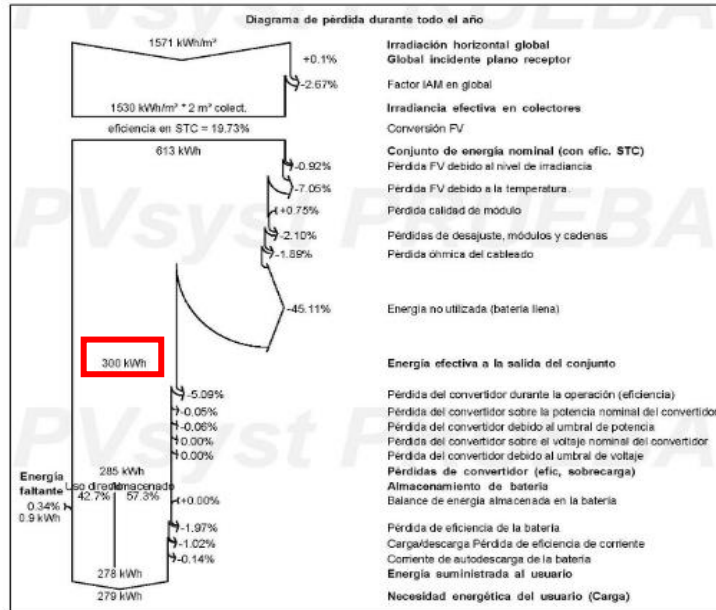
Desde el año 2020 se empezó a implementar en la entidad un software conocido como PVsyst mediante el cual se obtiene la generación energética total de los sistemas solares fotovoltaicos, con pérdidas y ganancias incluidas. Este dato posee una mayor exactitud ya que el software permite dimensionar en 3D el tamaño de las instalaciones, teniendo en cuenta la radiación solar que recibiría en función de su ubicación gracias a que posee una base de datos meteorológica y considera la proyección de sombras gracias a la simulación del movimiento del sol durante el día (García Castro, 2015). Por lo tanto, a partir de la comparación de la generación obtenida con la metodología experimental desarrollada, se puede estimar el porcentaje de error de los cálculos.

Cabe aclarar que el motivo por el cual no se desarrolló la metodología con el dato de generación energética obtenido por el PVsyst, es debido a que no todos los proyectos poseen en su memoria de cálculo el análisis de generación energética con este software. Adicionalmente, se considera más apropiado a la hora de presentar los datos y para la replicación de los mismos tener una metodología desarrollada por el PSE (Díaz Ospitia, B. N, & Jiménez Mendoza, E. Ingeniero eléctrico e Ingeniera Ambiental, Comunicación personal, 4 de mayo del 2022).

Para el cálculo del porcentaje de error obtenido entre la metodología desarrollada por los practicantes del periodo 2021-II y la mejorada por el presente documento, es importante entender como fue obtenido de la memoria de cálculo el valor de la generación energética del PVsyst, primero se debe definir cuál es el tipo de proyecto:

- Si es híbrido este tipo de sistemas son instalados en zonas rurales o en comunidades cuyos asentamientos no se encuentran muy alejados entre sí, ya que de lo contrario grandes distancias de cableado pueden incurrir en problemas de regulación y al requerir una mayor cantidad de materiales para la infraestructura los proyectos no son viables nivel económico. Por consiguiente, el modelo que se desarrolla en PVsyst es determinado para la comunidad en su totalidad, por lo tanto, el valor que se ilustra en la Figura 10, es el que debe ser tomado sin considerar la cantidad de usuarios.
- De ser sistemas solares fotovoltaicos estos son de tipo individual ya que son comunidades asentadas muy alejadas las unas de las otras, estos paneles son por ende distribuidos en la comunidad de acuerdo a las necesidades de la infraestructura en la que van a ser instalados, un ejemplo de ello es que para los hogares se distribuyen entre 2 y 3 paneles mientras que para centros educativos o de salud pueden llegar a 5, de acuerdo a las necesidades energéticas que posean. Así pues, en el software se modela respecto al aforo del tipo de infraestructura a satisfacer, un ejemplo es que se puede encontrar un aforo 1 en el que se determina la necesidad energética solo para infraestructuras residenciales, mientras que en el aforo 2 se determina para centros educativo y centros de salud. Por lo tanto, es importante determinar la cantidad de usuarios por cada aforo que se realice y este valor será multiplicado por la generación energética obtenida en el PVsyst en la ilustración que se observa en la Figura 10.

FIGURA 8. VALOR DE GENERACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDO EN PVSYST

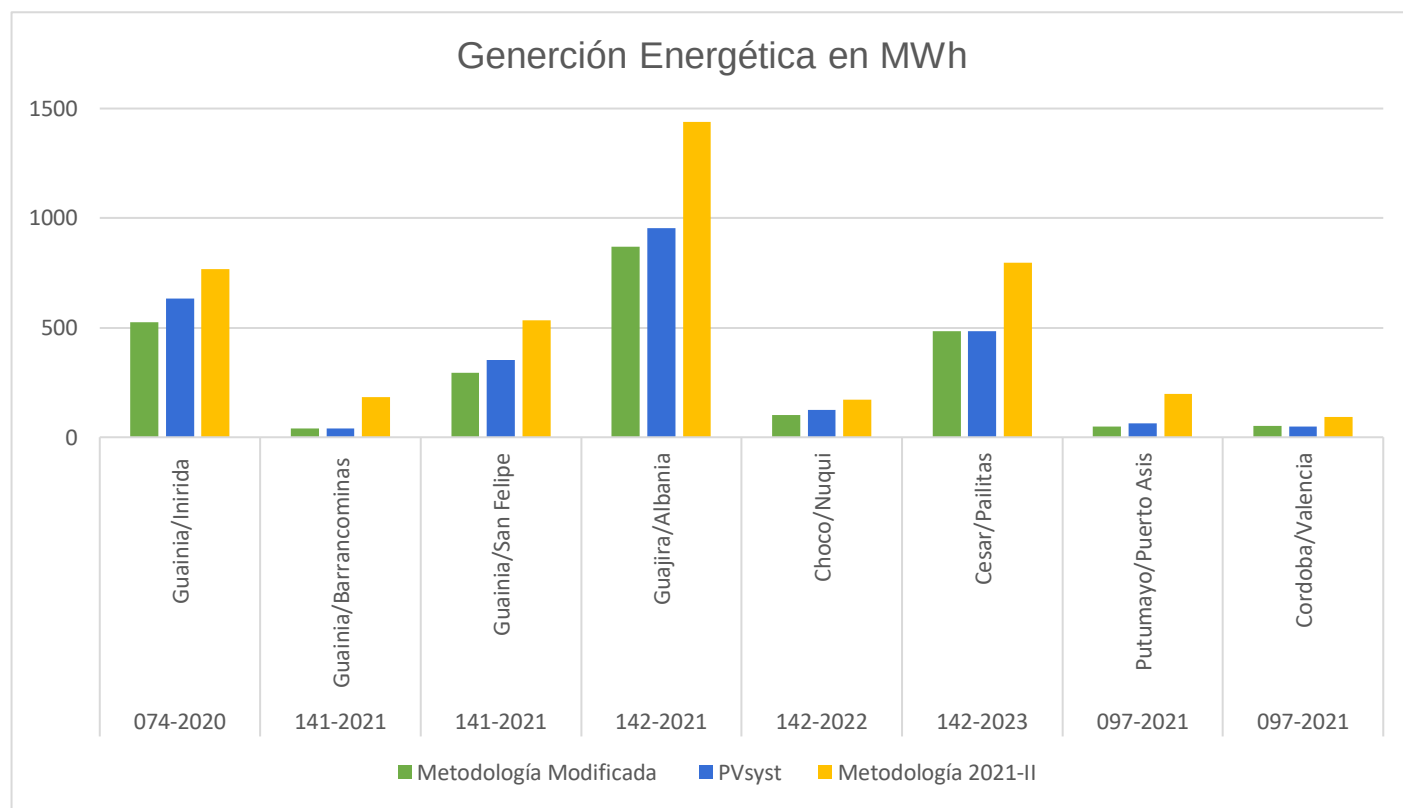


Fuente: IPSE, 2020

Una vez se tuvo claridad respecto a la forma correcta de tomar los valores obtenidos por el software, se dio continuidad a la comparación de los resultados obtenidos de la energía producida en el sistema en MWh con la metodología seleccionada del 2021-II y con las modificaciones que se realizaron en el presente documento, teniendo como valor real el obtenido en el PVSyst con el fin de determinar cuál de las metodologías incurre en un menor error en sus cálculos.

De los 28 proyectos calculados solo 8 contaban con los estudios del PVSYST, como se puede observar en la Gráfica 4, en donde la columna en azul representa los valores de energía en MWh obtenido en el PVSyst y la columna verde, cuyos valores son los más cercanos, representan la metodología con modificaciones., mientras que la metodología del 2021-II al no haber considerado la inclinación, el tipo de motor y las pérdidas, principalmente lo último, tiene un valor de energía mucho más alto. El cálculo del porcentaje de error e cada uno de los proyectos con PVSyst se observan con mayor claridad en el anexo 4.

GRÁFICA 4. GENERACIÓN ENERGÉTICA DE LAS METODOLOGÍAS Y PVsyst



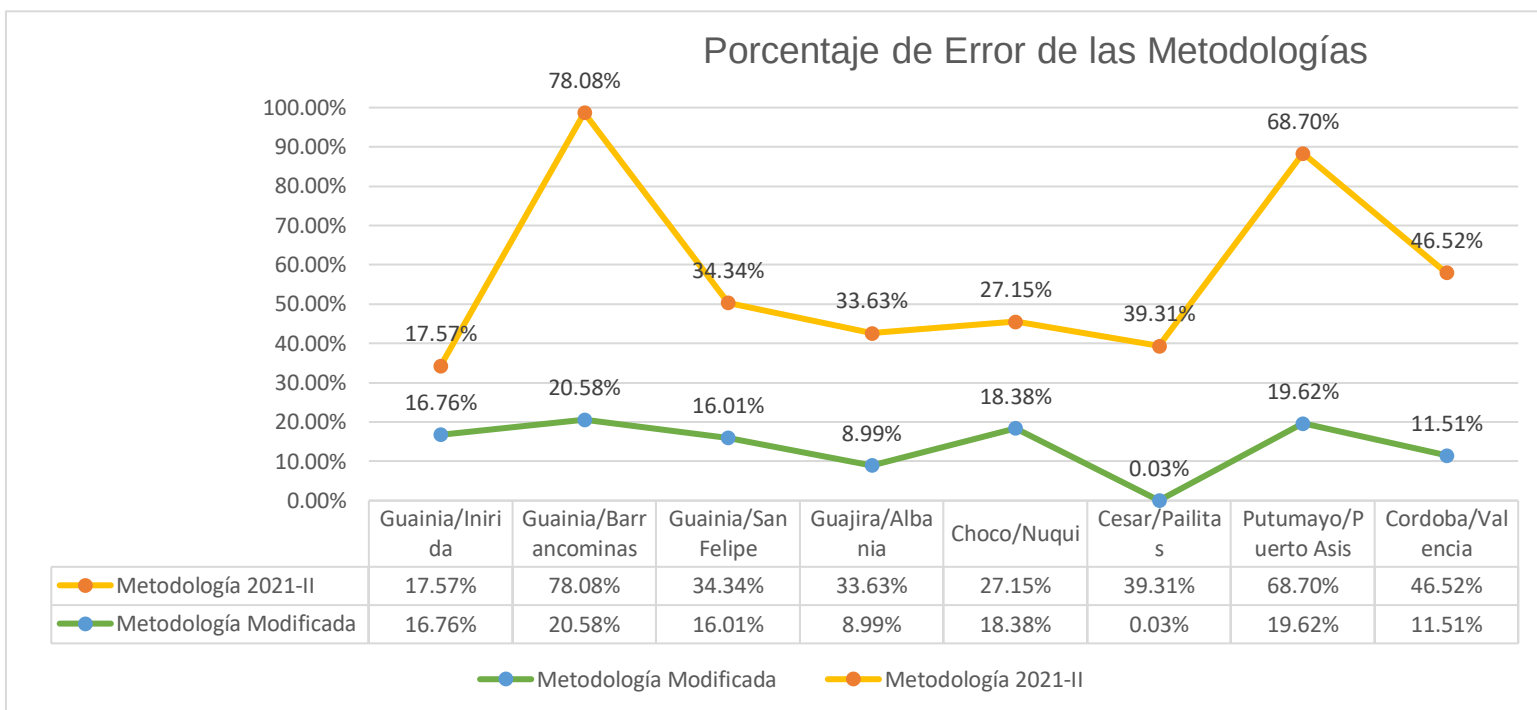
Fuente: Autor,2022.

Para determinar el porcentaje de error cometido en cada una de las metodologías a comparar, se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\% = \frac{\text{Valor teorico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teorico}} \times 100$$

En lo cual tomamos el valor teórico como el obtenido por el PVsyst y el experimental el obtenido por cada una de las metodologías, como podemos observar en la Grafica 5 la metodología 2021-II presenta errores entre los 18% y 78% con un promedio de error del 43%, mientras que la metodología con las correcciones presenta errores entre 0% y 20% con un promedio de error del 14%, con lo cual se puede concluir que en el presente documento se logró disminuir en cerca del 30% en el error cometido en la metodología previa.

GRÁFICA 5. PORCENTAJE DE ERROR DE LAS METODOLOGÍAS EXPERIMENTALES



Fuente: Autor, 2022, 2022

Recomendaciones Adicionales:

En esta sección se busca la continua mejora del componente ambiental en el IPSE en lo relacionado con las emisiones que se evitan y se emiten en los sistemas energéticos instalados, para lo cual se determinaron algunos puntos a mejorar.

- **Fijación de CO2 de los arboles**

Para lograr una identificación adecuada y más acertada de los arboles equivalentes o requeridos a razón de las emisiones evitadas o emitidas consecuentemente, se recomienda hacer un análisis en campo mediante los cálculos y metodologías establecidas por el IDEAM en el “Protocolo para la estimación nacional y sub-nacional de biomasa-carbono en Colombia”, en el cual se tiene en cuenta la zona de vida para escoger las constantes y se consideran tres variables independientes: DAP (diámetro a la altura del pecho), altura total y densidad básica de la madera, variable última la cual

puede ser determinada por el método de volumen verde por unidad de peso seco en el laboratorio, a partir un muestreo con una metodología no destructiva en campo, como se explica en el manual desarrollado por Cortes Cagüño & Matías Barrientos, (2019).

Adicionalmente, según la Ley 2169 del 2021, de hacer una compensación biótica efectiva cuando esta se termine y certifique el cumplimiento de los términos legales de la obligación derivada del licenciamiento ambiental por parte de la autoridad ambiental competente, teniendo en cuenta los criterios de adicionalidad establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. A través de esta transición el titular correspondiente podrá optar al pago por resultados o compensaciones similares, lo cual en este caso se realizaría por medio de los contratistas que hacen el trámite y lo retornan a la entidad.

- **Mercado de carbono**

El empalme estratégico de los contratistas en las ZNI del IPSE con entidades internacionales, pueden hacer viables el cumplimiento de los objetivos de reducción de GEI, mediante el Mecanismo de desarrollo Limpio MDL, mediante el cual pueden países industrializados pueden invertir en nuestro país, como una estrategia de mercado de carbono, en proyectos para la reducción de emisiones de GEI. De esta manera el IPSE puede no solo mejorar la calidad de vida de las personas al dar solución a problemáticas que se presentan durante el ciclo de vida de los proyectos, también puede contribuir a lograr un desarrollo sostenible en el país.

- **Aceptación de la metodología por una autoridad ambiental**

La Ley 2169 del 2021, establece la obligatoriedad del desarrollo de un reporte de emisiones de GEI, en la cual se deben reportar tanto las emisiones

directas como las Indirectas y la información y documentación para la elaboración de inventarios GEI. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS determinará las metodologías para el cálculo de las emisiones directas e indirectas que deberán ser reportadas, así como los métodos, instrumentos, procesos y periodicidad del reporte de las emisiones de GEI y la información y documentación de inventarios GEI. Por consiguiente, si el MADS es el encargado de determinar las metodologías considero se debe enviar una carta en la que se solicite la validación de la metodología en el IPSE o una auditoria, con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en la presente Ley respecto al requerimiento del reporte de emisiones GEI directas e indirectas.

- **Metodología PCH - Pequeña Central Hidroeléctrica**

Estas instalaciones hacen referencia central con capacidad instalada de rango de 0.2Kw a 500 Kw, en el IPSE esta es una de las opciones para la generación energética en las ZNI pero actualmente no se cuenta con metodologías que estimen las emisiones que se eviten o se generen por este tipo de sistemas energéticos.

- **Continuo mejoramiento del cálculo de emisiones**

Es importante resaltar que, aunque la estimación de las emisiones de CO₂eq en la etapa de operación, las cuales se analizan en el presente documento, son relevantes e importantes para el inventario de emisiones de la entidad, esta metodología deja por fuera emisiones que se presentan durante la instalación, construcción y mantenimiento de los sistemas, lo cual es necesario para acogerse a las metodologías que se emplean en el marco internacional, es por ello que se sugiere un análisis más a profundidad y con más detalle durante todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, con el fin de determinar los impactos totales y poder corregirlos y/o mitigarlos.

ANEXOS

Memoria de cálculo (Archivo Zip)

1. Cálculos contratos 2020
2. Cálculos contratos 2017
3. Cálculos contratos 2021
4. Porcentaje de error
5. Emisiones emitidas y evitadas totales

REFERENCIAS

- Ley 855 de 2003, Por la cual se definen las Zonas No Interconectadas (2003).http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0855_2003.html
- Ley 1715 de 2014, Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional (2014).https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf
- Ley 2169 de 2021, Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del País mediante el establecimiento del metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones. (2021).
<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202169%20DE%20L%2022%20DE%20DICIEMBRE%20DE%202021.pdf>
- Resolución 1442 de 2018, Por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015, y se dictan otras disposiciones. (2018).https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambiente_1447_2018.htm
- Ley 2099 del 2021, Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones (2021).
<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DE%20L%2010%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf>

- IPCC, OMM, & PNUMA. (2020). *El cambio Climático y la Tierra*. Yann Arthus Berthrand.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Organización Internacional de Normalización, ISO-14064. (2020) Sistema de Gestión Huella de Carbono.
https://www.intedya.com/productos/Plantilla_NORMAISO14064-1.pdf
- Espitia González, C. H. (2020). *Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos*. Universidad Industrial de Santander.
<https://clustersantander.com/media/809653b1167deb1efa53f1cb4f2077b82e40b814.pdf>
- Bello Torres, A. J., Diaz, A. E., Valencia Llanos, J. A., & Soluciones Solares Fotovoltaicas Híbridas Implementadas En Zonas No Interconectadas de Colombia (IPSE). (2021). Soluciones Solares Fotovoltaicas Híbridas Implementadas En Zonas No Interconectadas de Colombia. *Universidad Distrital «Francisco José de Caldas»*.
https://ipse.gov.co/documento_prensa/documento/documentos_de_%20investigacion/ART%C3%8DCULO%20SISTEMAS%20H%C3%8DBRDOS.pdf
- IPSE. (2021). *Quiénes Somos – IPSE*.
<https://ipse.gov.co/mapa-del-sito/ipse/direccionamiento-estrategico/quienes-somos/>.<https://ipse.gov.co/mapa-del-sito/ipse/direccionamiento-estrategico/quienes-somos/>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). Climate change 2007: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the environmental panel on climate change. New York: Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC)*. Gobierno de Colombia.<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Colombia%20First/NDC%20actualizada%20de%20Colombia.pdf>
- UPME, Sánchez Rippe, J. D., Galvis Mora, O. I., & Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Cálculo del factor de emisiones de la red de energía eléctrica en Colombia para 2020*. MinEnergía.
https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Calculo-FE-del-SIN/Documento_Tecnico_Calculo_FE_2020.pdf
- OLADE. (2016). *Formulación de una Propuesta para una Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMA) para las Zonas No*

interconectadas (ZNI) de Colombia". <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/03/Informe-Final-NAMA-ER-Colombia.pdf>

- Herrera Ospina, F. A., Osorio Camargo N & Alvarez Bermudez S.V.(2021). Informe Huella de Carbono IPSE -SCS.
- Schneider, H., Samaniego, J., CEPAL, & RÉPUBLIQUE FRANCAISE. (2010). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Naciones Unidas.
- Cuenca Osorio L. O & Morales Sarmiento J. F (2021). Informe emisiones generadas en las ZNI con telemetría.
- Cortes Cagüño, J. H., & Matías Barrientos, E. V. (2019). Estimación De La Capacidad Potencial De Fijación De Co2 Y Producción De O2, Como Servicio Ecosistémico Suministrado Por El Arbolado Del Parque Los Fundadores Y La Alameda De La Avenida 40 En El Municipio De Villavicencio (Meta). *Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental*. Universidad Santo Tomás.
<https://repository.usta.edu.co/jspui/bitstream/11634/18427/5/2019jhoncortes.pdf>
- Baco, L. F. (2019, 25 octubre). *Compensación ambiental: ¿en qué consiste? – Caso real en Colombia*. Claves para el Desarrollo Sostenible. <https://www.inerco.com/blog/compensacion-ambiental/#:%7E:text=La%20compensaci%C3%B3n%20ambiental%20consiste%20en,desarrollo%20de%20infraestructuras%2C%20entre%20otras.>
- IPSE. (2022,enero). *Ficha de Caracterización ZNI*. https://ipse.gov.co/documentos_cmn/documentos/caracterizacion_de_energia/FICHA_DE_CARACTERIZACION_ZNI_ACT.31-08-2021.pdf
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *Información Técnica Sobre Gases Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). *Climate change 2007: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the environmental panel on climate change*. New York: Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/>
- United Nations. (2021). *The Paris Agreement*. Recuperado 2022, de <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

- Resolución 40296 de 2020, Por la cual se reglamenta transitoriamente el otorgamiento de subsidios para el servicio público de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas-ZNI mediante Soluciones Solares Fotovoltaicas Individuales con potencia mayor a 0,5 kW.
(2020). <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/48704-40296.pdf>
- IPSE. (2022, enero 31). *Con los proyectos energéticos entregados por el IPSE, en 2021 se alcanza el ahorro en la emisión de 926 toneladas de co2 al año* –IPSE.ipse.gov.co. <https://ipse.gov.co/blog/2022/01/31/con-los-proyectos-energeticos-entregados-por-el-ipse-en-2021-se-alcanza-el-ahorro-en-la-emision-de-926-toneladas-de-co2-al-ano/>
- PROCOLOMBIA (2018). *Colombia y su Potencial en Fuentes de Energía Renovables*. <https://investincolombia.com.co/es/articulos-y-herramientas/articulos/colombia-y-su-potencial-en-fuentes-de-energia-renovables>
- DNP, Ministerio de Minas y Energía, & IPSE. (2020). *Proyecto Tipo: Instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos Individuales en Zonas No Interconectadas*.
- Ruiz Pinzón, J. A. (2021). *Generador De Energia Fotovoltaica Dc/Ac Para Corporacion Expresiones Artisticas Arcoiris De Bogota – Usme*. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero electrónico y de telecomunicaciones. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/27025/1/GENERADOR%20DE%20ENERGIA%20FOTOVOLTAICA%20DCAC%20PARA%20CORPORACION%20EXPRESIONES%20ARTISTICAS%20ARCOIRIS%20DE%20BOGOTA%20%E2%80%93%20USME.pdf>
- Ortiz Vallejo, M. A. (2014). *Estudio Comparativo del Uso del Diesel Entre Europa y Ecuador, Utilizado para Motores de Vehículos. Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico Automotriz, Quito(Ecuador)*. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/610/1/T-UIDE-0560.pdf>
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *Información Técnica Sobre Gases Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>

- National Academy of Sciences & The Royal Society. (2020). *Climate Change Evidences & Causes*.
https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2016). Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- Ley 1931 de 2018, Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático. (2018).
<http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/ley%201931%20del%2027%20de%20julio%20de%202018.pdf>
- Galindo Becerra, E. D., Jimenez Mendoza, E. N., & Herrera Ospina, F. A. (2021). *MANUAL DE ESTIMACION DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO2) EMITIDAS Y EVITADAS POR PROYECTO IPSE – SCS.PSE*.
- Naciones Unidas. (2020). *Cambio Climático*. United Nations.
<https://www.un.org/es/climatechange>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política Nacional de Cambio Climático*. PuntoAparte.
- Ley 2169 de 2021, Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones.(2021).<https://acmineria.com.co/normativa/ley-2169-de-2022-se-impulsa-el-desarrollo-bajo-en-carbono-del-pais/#:~:text=carbono%20del%20pa%C3%ADs-,Ley%202169%20de%202021%20%E2%80%93%20Se%20impulsa%20el,bajo%20en%20carbono%20del%20pa%C3%ADs&text=Por%20medio%20de%20la%20cual,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones.>
- Ministerio de Minas y Energía (2021). Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/libro-transicion-energetica#:~:text=En%202021%20C%20llegaremos%20a%20cerca,renovables%20en%20la%20matriz%20el%C3%A9ctrica.>
- Millán, A. D., & Rosero Narváez, J. (2015). *Huella De Carbono*. Universidad Autónoma De Occidente Facultad De Ciencias Básicas.

- Jiménez Mendoza, E. N. (2021). Soluciones energéticas implementadas en zonas no interconectadas de Colombia y su aporte en Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). *Universidad Nacional de Colombia*.
- Carbonplus. (2021, 3 marzo). *Qué es y cómo se calcula la huella de carbono*. CARBON NEUTRAL +. https://carbonneutralplus.com/2021/03/03/que-es-y-como-calculiar-la-huella-de-carbono/?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2812950748&hsa_cam=12119924080&hsa_grp=117340971330&hsa_ad=520993456996&hsa_src=q&hsa_tgt=dsa-1263007810457&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&qclid=Cj0KCQjw29CRBhCUARIsAOboZbK73eRsnt73pS4PEpXFctUZJo1CZd1fzac3ICLUEUd58w4xu67frelaAsqeEALw_wcB
- Creg-Comisión De Regulación De Energía Y Gas. (2019). *Consultoría Para Establecer Una Metodología Para El Cálculo De Energía Firmede Una Planta Solar*. FONROCHE, energies renovables.
- García Castro, C. (2015). *SIMULACIÓN DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CON PVSYST*. Universidad de Jaén, Escuela Politécnica Superior.
<https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/4226/1/TFG%20Carlos%20Garc%C3%ADa%20Castro.pdf>