

UNIVERSIDAD EAFIT

Escuela de Ciencias Aplicadas e Ingeniería
Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño (GRID)

**UNIVERSIDAD
EAFIT**

**Modelo de evaluación técnica, económica,
medioambiental y social en proyectos de generación
de energía eléctrica a partir de fuentes renovables**

MANUSCRITO PRESENTADO COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

Maestría en Ingeniería (MEng)

*Modalidad: **Profundización** –Grado no investigativo–*

AUTOR:

Ing. Harvy Correa Herrera

SUPERVISOR:

Ricardo Mejía-Gutiérrez, PhD.

Diciembre 2023

GRID
Design Engineering
Research Group

Resumen

Este trabajo presenta una investigación que surge en el contexto de la transición energética y el impulso hacia el desarrollo sostenible en Colombia. En 2017, se lanzó la convocatoria 778 de Colciencias, dando origen a la Alianza Energética 2030 (E2030), liderada por la Universidad Nacional de Colombia. Esta alianza busca transformar el sector energético colombiano para 2030 a través de programas de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i).

El proyecto P3, parte de E2030, se centra en la Movilidad Eléctrica como una alternativa sostenible y multimodal, abordando la hibridación de una motocicleta, el desarrollo de una embarcación eléctrica, y la construcción de una estación de carga solar y modelos de planificación multimodal. La implementación se enfoca en ciudades intermedias como Magangué y Sincelejo.

Este proyecto de maestría surge como respuesta a las barreras identificadas en la implementación de proyectos energéticos, especialmente en el ámbito social. La revisión de literatura revela obstáculos como la falta de planificación, problemáticas sociales, y deficiencias en la adopción tecnológica.

El trabajo se enfoca en desarrollar un modelo integral para evaluar proyectos de generación de energía renovable desde perspectivas técnica, económica, social y medioambiental.

La metodología propuesta incluye el análisis de metodologías existentes, la integración de mejores prácticas, y la aplicación de un modelo multidimensional a la Estación de carga fotovoltaica del proyecto P3.

Se espera que este enfoque aporte una visión integral de la viabilidad de proyectos similares, reduciendo el riesgo de no adopción o su interrupción.

Palabras Clave: Energía renovable, Movilidad Eléctrica, Viabilidad multidimensional, Desarrollo sostenible, Viabilidad técnica, económica, medioambiental, social

Publicaciones personales

Durante el desarrollo de este proyecto de investigación se generó y se publicó el siguiente artículo científico:

- Correa, H., & Mejia-Gutierrez, R. (2021). “An applied academic experience in the context of a research program: A photovoltaic charging station case study.” in: *Conference name: 13th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN'21)*, 5–6 July, 2021 (pp. 8545-8553). ISBN: 978-84-09-31267-2, ISSN: 2340-1117. Doi: <http://doi.org/10.21125/edulearn.2021.1728>

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me apoyaron en este significativo proceso académico. En especial, agradezco al profesor Ricardo Mejía Gutiérrez, mi asesor, cuya experta orientación y exigencia fueron fundamentales para alcanzar el desarrollo de la maestría y la redacción de esta tesis. También quiero agradecer al exrector de EAFIT, Juan Luis Mejía Arango, por su voz de aliento y por el generoso respaldo otorgado a través de una beca que facilitó este proceso académico. A mis compañeros de maestría, amigos que me deja el proyecto Energética 2030, especialmente a Santiago Bernal del Río, Juan David Mira Pineda, Esteban Betancur Valencia, Mauricio Fernández Montoya, Pedro Vélez Aristizábal, Erick Santiago Gómez Oviedo y Joan Francisco Alvarado les estoy profundamente agradecido por su apoyo incondicional y colaboración en el desarrollo de ideas y la mejora de los diversos aspectos de este trabajo académico. A mi querida madre y a mi familia, quienes han sido mi pilar y fuente de apoyo incondicional, les doy las gracias de todo corazón. Y a mis amigos, por su compañerismo y sus voces de aliento, de ánimo en todo momento. Este logro no habría sido posible sin el valioso aporte y el cariño de cada uno de ustedes. ¡Gracias, mil gracias por ser parte esencial de este importante hito en mi vida académica! Los recordaré siempre con gratitud.



Project context and funding:

Authors would like to thank Universidad EAFIT and Universidad EIA to the joint co-supervision of this project. The research topic has been developed in the framework of the “ENERGETICA 2030” Research Program, with code 58667 in the “Scientific Colombia” initiative, funded by The World Bank through the call “778-2017 Scientific Ecosystems”, managed by the Colombian Ministry of Science, Technology and Innovation (MINCIENCIAS), with contract No. FP44842-210-2018. Additionally, authors would like to thank Universidad EAFIT scientific computing center (APOLO) for its support for the computational experiments.

Tabla de Contenido

Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	x
Lista de Símbolos	xii
1 Introducción	1
1.1 Contexto y antecedentes	1
1.2 Justificación	3
1.3 Problema / Necesidad	6
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6
1.5 Alcance	7
1.6 Metodología	7
2 Revisión de literatura	11
2.1 Evaluación Técnica	11
2.2 Evaluación Económica	15
2.3 Evaluación Medioambiental	17
2.3.1 Clasificación de metodologías según Dickert	20
2.3.2 Clasificación de instrumentos más usados	21
2.4 Evaluación Social	23
3 Integración de un modelo multidimensional para el análisis de impactos	27
3.1 Evaluación Técnica	30
3.2 Evaluación Económica	30
3.2.1 VPN - Valor Presente Neto	31
3.2.2 PRI - Tiempo de Recuperación de la inversión	31

3.2.3	TIR - Tasa Interna de Retorno	31
3.3	Evaluación Medioambiental	32
3.4	Evaluación Social	33
4	Caso de Estudio	35
4.1	Contexto del proyecto	35
4.1.1	Necesidades del contexto	35
4.1.2	Caso de estudio Magangué	37
4.1.3	Descripción estación de carga	38
4.2	Evaluación Técnica	39
4.3	Evaluación Económica	46
4.4	Evaluación Medioambiental	61
4.5	Evaluación Social	80
4.6	Resultados de la evaluación Multidimensional	91
5	Conclusiones	93
	References	99
	Abbreviations	103

Lista de Figuras

1.1	Metodología propuesta	8
2.1	Sistema on-grid (Green Energy, 2023)	13
2.2	Sistema off-grid (Green Energy, 2023)	14
2.3	Sistema híbrido (Green Energy, 2023)	14
3.1	Modelo multidimensional	28
3.2	Análisis del Ciclo de Vida (Rodríguez, 2003)	33
3.3	Evaluación del impacto Social	34
4.1	Transporte - Mototaxismo en Magangué	36
4.2	Puerto fluvial en el río Magdalena, Magangué	36
4.3	Botes para el transporte fluvial de pasajeros en Magangué	36
4.4	Representación gráfica del sistema	38
4.5	Estación de carga - Vista de primer plano	39
4.6	Estación de carga - Vista panorámica	40
4.7	Esquema de la estación de carga on-grid	42
4.8	Etapas de un análisis de ciclo de vida y aplicaciones	61
4.9	Análisis de ciclo de vida de caso de estudio, bloques	62
4.10	Reacción estequiométrica SO	74
4.11	Reacción estequiométrica NO	77
4.12	Secuencia para la evaluación de impactos de proyectos (EIS). Tomado de:(SENER, 2016)	90

Lista de Tablas

2.1	Indicadores para el Estudio de Impacto Social	26
3.1	Matriz de evaluación del estado del arte	29
4.1	Especificaciones técnicas de la estación de carga inicial para el caso de estudio en Magangué	41
4.2	Especificaciones técnicas de la estación de carga inicial para el caso de estudio en Medellín	41
4.3	Elementos de consumo energético conectados a la Estación de Carga del caso de estudio	43
4.4	Costos de producción e instalación estación de carga del caso de estudio en Medellín	47
4.5	Datos financieros para el caso de estudio (Estación de Carga)	48
4.6	Rangos de interpretación para valores de Valor Presente Neto del proyecto	51
4.7	Cálculo de VPN para caso de estudio en horizonte de diez años	52
4.8	Cálculo de la TIR para caso de estudio en horizonte de diez años	54
4.9	Valor del PRI para el caso de estudio	55
4.10	Cálculo del FRC en horizonte de 10 años para caso de estudio de Estación de Carga Fotovoltaica	57
4.11	Comparativo de LCOE caso de estudio con proyectos de generación de energía	60
4.12	Comparativo entre metodologías para el cálculo de impacto ambiental basado en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	63
4.13	Valores de normalización de cantidades en Ecoindicador 99 (Lynch Navarro, 2015)	65
4.14	Aplicación de Ecoindicador 99 al caso de estudio	66
4.15	Categorías de impacto consideradas en el método CML 2000 Baseline	67
4.16	Normalización de cantidades en CML 2000 Baseline	68
4.17	Factor de caracterización del agotamiento de recursos abióticos	69
4.18	Cálculo del agotamiento de los recursos abióticos para caso de estudio	70

4.19 Factores de caracterización, GWP, en kg CO ₂ .kg ⁻¹ , para el cálculo de la categoría de cambio climático, para diferentes gases efecto invernadero y periodos de 20, 100 y 500 años	72
4.20 Valores del cambio climático para la Estación de Carga	72
4.21 Factores de equivalencia, AP, g eq. H ⁺ . g ⁻¹	73
4.22 Cálculo de la acidificación producto de la incineración del acero para Estación de Carga	75
4.23 Factores de equivalencia HTP, ATP y TTP utilizados en las categorías de toxicidad humana, ecotoxicidad acuática y terrestre según el método CST	76
4.24 Cálculo de la toxicidad producto de la incineración del acero para caso de estudio . . .	77
4.25 Normalización de categorías en Ecoindicador 99 para caso de estudio	78
4.26 Normalización de categorías en CML 2000 Baseline para caso de estudio	79
4.27 Comparación de valores normalizados de ambas metodologías	79
4.28 Efectos relacionados con las alternativas posibles en el caso de estudio	84
4.29 Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 1	84
4.30 Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 2	85
4.31 Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 3	85
4.32 Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 4 (todos son posibles*)	85
4.33 Precios y cantidades relacionadas con costos y beneficios	87
4.34 Análisis de la información de costos del ABCS para caso de estudio	88
4.35 Beneficio Neto e índice Costo-Beneficio para caso de estudio	89
4.36 Calificación de criterios vinculados al proyecto (caso de estudio)	91
4.37 Distribución de impactos totales (100% caso de estudio)	91
4.38 Matriz de evaluación Multidimensional	92

Listado de abreviaciones

<i>ABCS</i>	Análisis Costo-Beneficio Social
<i>ACV</i>	Análisis del Ciclo de Vida
<i>AICV</i>	Análisis del Impacto Ciclo de Vida
<i>ATI</i>	Aquatic Toxicity Impact (Ecotoxicidad Acuática)
<i>CBS</i>	Costo Beneficio Social
<i>CCI</i>	Indicador del Cambio Climático (Climate Change Indicator)
<i>CRF</i>	Capital Recovery Factor (Factor de Recuperación del Capital)
<i>E2030</i>	Energética 2030
<i>EIS</i>	Evaluación de Impacto Social
<i>FRC</i>	Factor de Recuperación del Capital
<i>GWP</i>	Potencia del Calentamiento Global
<i>HTI</i>	Impacto de toxicidad en humanos
<i>HTP</i>	Factor de caracterización de toxicidad en humanos
<i>I + D + i</i>	Investigación, Desarrollo e innovación
<i>ICB</i>	Indicador Costo Beneficio
<i>ICV</i>	Inventario de Ciclo de Vida
<i>IPCC</i>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<i>ITIL</i>	Information Technology Infrastructure Library
<i>LCA</i>	Life Cycle Assessment or Life Cycle Analysis (Análisis de ciclo de vida)

<i>LCI</i>	Life Cycle Inventory (Inventario de Ciclo de Vida)
<i>LCIA</i>	Life Cycle Inventory Analysis
<i>LCOE</i>	Levelized cost of electricity (Costo nivelado de Energía)
<i>PCH</i>	Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
<i>PMI</i>	Project Management Institute
<i>PRI</i>	Período de Recuperación de la Inversión
<i>SFV</i>	Sistema Fotovoltaico (Photovoltaic System)
<i>TIR</i>	Tasa Interna de Retorno
<i>TTI</i>	Terrestrial Toxicity Impact (Ecotoxicidad Terrestre)
<i>UPME</i>	Planeación Minero Energética
<i>VP</i>	Valor Presente
<i>VPN</i>	Valor Presente Neto

Capítulo 1

Introducción

1.1 Contexto y antecedentes

De acuerdo con un reporte del año 2015 de la Unidad De Planeación Minero Energética de Colombia (UPME), cerca del 80% de la energía que se consume mundialmente proviene de fuentes fósiles, mientras que el 20% restante proviene de fuentes renovables (UPME et al., 2015).

Dentro de ese mismo año la Organización de Naciones Unidas (ONU) define los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con miras al año 2030 y como parte de ellos, específicamente el objetivo 7, promueve el desarrollo de energía asequible y no contaminante en el mundo.

A partir de estos elementos, Colombia y los países firmantes del Acuerdo de París, empiezan a determinar políticas que le aporten al logro de estos objetivos. Como parte de esta apuesta de país, Colombia empieza a crear y a fortalecer una serie de iniciativas que permitan lograr alcanzar estos objetivos y por esta razón en el año 2017 se lanza la convocatoria 778 de Colciencias como una estrategia que impulse el desarrollo regional y responda a los retos del desarrollo social y productivo del país.

Dentro de esta convocatoria nace Energética 2030 (E2030) una alianza interinstitucional liderada por la Universidad Nacional de Colombia y conformada por 11 organizaciones; 8 instituciones universitarias y 3 aliados del sector empresarial.

Las instituciones universitarias que componen la Alianza son: la Universidad Nacional de Colombia, en calidad de universidad ancla, la Universidad Pontificia Bolivariana – UPB, la Universidad EAFIT, la Universidad EIA, la Corporación Universitaria del Caribe - CECAR, la Universidad de Sucre - UNISUCRE, la Universidad de la Guajira - UNIGUAJIRA, y la Universidad Francisco de Paula Santander - UFPS, además de los 3 aliados empresariales, ISA, XM e INTERNEXA, empresas pertenecientes al sector energético en Colombia.

El objetivo principal de la alianza es ejecutar un programa de Investigación, Desarrollo e in-

novación (I+D+i), financiado por Colciencias en el marco de Colombia Científica, que responde al foco estratégico de Energía Sostenible y que busca definir estrategias de transformación del sector energético colombiano al año 2030.

Esta Alianza está conformada por 11 proyectos e involucra al menos 250 personas (investigadores, estudiantes, y profesionales) durante sus 4 años de ejecución (2018-2022) ¹.

La Universidad EAFIT participa dentro de la alianza en 4 de los 11 proyectos y uno de ellos es el P3 - Movilidad Eléctrica que pretende proponer una alternativa de movilidad sostenible multimodal, que sirva para el análisis como nodo prosumidor y su interacción con la red de energía nacional. Este nodo prosumidor está compuesto por el desarrollo de cuatro elementos: 1) un kit de hibridación para motocicletas, 2) una embarcación fluvial electro-solar, 3) una estación de carga fotovoltaica y 4) un modelo de planeación y operación del sistema multimodal.

La integración de estos elementos permitirá ofrecer una solución replicable para ciudades intermedias o regiones, con el fin de ofrecer una alternativa amigable con el medio ambiente, orientada a disminuir la contribución a las emisiones de fuentes móviles, y contar con una alternativa de análisis a escala de lo que potencialmente será el mercado del transporte a 2030, teniendo en cuenta que la movilidad en motos/bicicletas y la navegabilidad fluvial son de gran potencial de mejora en Colombia y principalmente en las regiones.

El proyecto P3 comprende la parte investigativa de las necesidades en el contexto, el diseño de una solución viable técnicamente y el desarrollo de un prototipo para cada elemento. Finalmente, su integración en un piloto permitirá analizar la información de generación y consumo, para la evaluación de viabilidad técnica y económica.

Dentro de los alcances de E2030 se incluyen desarrollos técnicos, pero de igual manera, se ha considerado el aspecto social, como uno de los elementos fundamentales dentro de los distintos logros específicos esperados dentro de cada uno de los proyectos.

En este sentido, y en principio, el municipio de Magangué ubicado en el sur del departamento de Bolívar, y Sincelejo, capital del departamento de Sucre en Colombia, son los dos lugares específicos para los cuales se tienen previstas la implementación de algunos de estos desarrollos.

Un aspecto importante a destacar es que estas nuevas soluciones se están desarrollando atendiendo las necesidades de las comunidades que serán impactadas y poniendo especial interés en la correcta adopción de estas tecnologías por parte de las personas que habitan estos espacios.

Ahora bien, P3 tiene previsto realizar los desarrollos comprometidos dentro de la Alianza teniendo en cuenta los patrones de desplazamiento y necesidades de transporte en ciudades intermedias, en concordancia con el desarrollo y adopción de tecnologías de generación y consumo eficiente, con el fin de evaluar el impacto de dicho sistema (al ser considerado como un nodo prosumidor) y su interacción

¹ENERGETICA2030: <https://www.energetica2030.co/>

con la red de energía.

Es en esta medida que desde P3 se enlazan los resultados del proyecto con los de la iniciativa que lidera la Universidad Nacional desde el proyecto P10 - Laboratorio de co-creación y donde se hace especial énfasis en el aspecto social como uno de los aspectos fundamentales para buscar garantizar la correcta adopción de los desarrollos de la alianza por parte de las comunidades donde serán instalados.

Es precisamente allí, en los aspectos sociales, en donde cobra mayor sentido el desarrollo de este proyecto de maestría ya que se quiere complementar la evaluación de los aspectos netamente técnicos, con otros elementos, tradicionalmente formales, como la parte financiera y medioambiental, con la parte social.

Para lo anterior, y dentro del marco de proyectos de generación eléctrica a partir de fuentes renovables, se presenta un caso de estudio basado en uno de los tres prototipos que son producto del proyecto, específicamente la estación de carga fotovoltaica para el cual se aplicará el modelo de evaluación de su viabilidad multidimensional compuesta por la evaluación desde lo técnico, lo económico, lo social y lo medioambiental propuesto en el presente trabajo de maestría.

El análisis y la evaluación de este caso de estudio particular y su correspondiente documentación, es el entregable de este proyecto de grado, además de sus conclusiones y recomendaciones frente a la aplicación del análisis de viabilidad multidimensional que se ha configurado para ello.

Finalmente y de manera complementaria, se espera entregar una serie de acciones alternativas encaminadas a hacer viables aquellos aspectos que al ser evaluados arrojen, en principio, que se trataría de un proyecto que no ofrece una viabilidad en alguno o algunos de los cuatro aspectos que se evaluarán.

1.2 Justificación

Dentro de la exploración realizada a nivel de información y problemáticas se han encontrado una serie de dificultades en distintos aspectos que no facilitan la realización de proyectos en Colombia, algunos de ellos específicamente en sector energético. A continuación, se relaciona una serie de artículos y documentos que evidencian esta problemática.

En el año 2018 la revista Semana publicó un artículo titulado “Centenares de obras e inversiones en infraestructura vial y en, generación y transmisión de energía, claves para el desarrollo y la competitividad del país, han quedado en el limbo por no lograr acuerdos con las comunidades” en el cual se destacan dos ejemplos claros de esta problemática ².

El primero, es el caso de la central hidroeléctrica Porce IV donde Empresas Públicas de Medellín (EPM), empresa constructora, prefirió desistir de su construcción dado que aparecieron comunidades

²Semana: <https://www.semana.com/proyectos-e-inversiones-paradas-por-consultas-previas/261899/>

en la zona del proyecto luego de los censos inicialmente realizados en la etapa de proyección del proyecto.

El segundo caso expuesto dentro de la publicación es el montaje de la línea de transmisión de energía hacia Buenaventura, la cual iba a ser construida por la Empresa de Energía del Pacífico S.A.(EPSA) y en cuyo trazado se ubicaron distintas comunidades que no permitieron que se diera el proyecto.

En otra publicación, la Revista Portafolio en su edición del 24 de septiembre del año 2020, se señala que en Colombia hay 294 proyectos distribuidos en 25 departamentos de la geografía nacional que se encuentran inscritos ante la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Según este artículo, se trata de 294 proyectos cuyo objetivo es la generación de electricidad a partir de fuentes renovables tales como plantas solares, eólicas y también Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) ³.

De acuerdo con esta publicación, “Estamos dando el paso más importante para el sector energético en los últimos 20 años. Por esta razón es fundamental que entre todos los actores se coordinen las acciones necesarias para tener una transición energética ordenada y exitosa”

En marzo de 2016 el periódico El Tiempo publicó un artículo en el que, de acuerdo con la secretaria de transparencia de la presidencia de Colombia, la politiquería, el clientelismo, la falta de planeación, la incapacidad técnica de muchos de los entes territoriales y el no tener en cuenta los costos de mantenimiento de las obras han sido las principales causas de obras inconclusas en el país ⁴.

Dentro de un trabajo de grado presentado por tres estudiantes de especialización en auditorías de proyectos de la universidad Santo Tomas de Colombia, algunas de los principales aspectos que ocasionan retrasos en la entrega de obras son: La planeación inconclusa en cuanto al alcance, su rentabilidad, la problemática social y medioambiental, y el diseño de contratos inequitativos (Gordo Barreiro et al., 2017).

De acuerdo con la publicación del periódico el quindiano en septiembre de 2020 que basa su artículo en el informe de la Contraloría General de la Nación en Colombia hay cerca de 1.400 obras incluidas las cuales tienen un costo aproximado de 25 billones de pesos. El informe da cuenta de que los departamentos donde hay un número mayor de proyectos inconclusos son: Tolima y Antioquia con 96 y 92 proyectos respectivamente. El departamento de Bolívar, uno de los lugares donde se realizarán estos desarrollos técnicos, ocupa el quinto lugar con 83 proyectos inconclusos de acuerdo con este informe ⁵.

De igual manera la Contraloría General advierte en el informe que los proyectos pertenecen a distintos sectores y que dentro de los sectores más afectados están el de la educación y el de la vivienda con 534 y 201 proyectos respectivamente y particularmente en el sector de minas y energía se tienen

³Portafolio: <https://www.portafolio.co/economia/con-294-proyectos-colombia-transita-a-energias-limpas-545001>

⁴El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16534744>

⁵El Quindiano: <https://www.elquindiano.com/noticia/21226/colombia-tiene-1400-obras-inconclusas-por-un-total-de-25>

cerca de 27 proyectos inconclusos distribuidos en todo el país. Según el contralor delegado para la participación ciudadana, Luis Carlos Pineda Téllez, estas obras son conocidas como “elefantes blancos” pues sus gastos superan los beneficios, algunas han sido abandonadas terminadas o no terminadas y en algunos casos nunca se utilizaron para lo que fueron proyectadas.

De acuerdo con la Contraloría General, este inventario de los denominados “elefantes blancos” fue el principal insumo para el nacimiento de la Ley 2020/2020 que tiene por objeto crear el Registro Nacional de Obras Civiles Inconclusas en el territorio colombiano y ordenar que en él se incorpore la identificación de aquellas obras financiadas total o parcialmente con recursos públicos, y que requieren de un tratamiento de evaluación e inversión técnica, física o financiera, con el fin de definir su terminación, demolición o las acciones requeridas para concretar su destinación definitiva.

En este sentido, desde el gobierno nacional, y desde entes de control como la propia Contraloría General de la Nación, se han evidenciado esfuerzos para tratar de culminar aquellas obras denominadas “elefantes blancos”.

Este tipo de iniciativas permite a la nación facilitar los medios para que finalmente las comunidades puedan hacer uso de los proyectos que se financian con dineros públicos.

Un elemento adicional que complementa algunas de las problemáticas que más se destacan en la implementación de proyectos, ahora desde el área social, fue abordada por el proyecto P10 - Laboratorio de co-creación, que hace parte de la Alianza E2030, proyecto desde el cual se realizó un análisis de las principales barreras para la adopción de la tecnología energética, y donde se evidencia que las principales causas que explican esta problemática son las barreras organizativas y barreras personales, además de las barreras tecnológicas que se presentan por el desconocimiento de las nuevas tecnologías en el momento de su implementación o a nivel de mantenimiento (Elizabeth et al., 2022).

Dentro de las principales barreras mencionadas en el texto de la profesora Arboleda de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, elementos como la planeación adecuada desde los estudios de prefactibilidad, aspectos operativos simples a nivel de organización de las comunidades, mecanismos de resolución de conflictos entre las comunidades, entre otros, se destacan como algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta dentro del desarrollo de nuevos proyectos y que deben ser abordados de manera holística, buscando que estas nuevas tecnologías sean adecuadamente socializadas y transferidas a las comunidades a efectos de no ser lesivos con las condiciones de vida de las comunidades que se verán impactadas con su implementación y puesta en marcha.

De acuerdo con el texto, el éxito en los procesos de adopción tecnológica depende, en gran medida de la correcta articulación interinstitucional con el estado, no única y exclusivamente en temas financieros, sino además en otras contribuciones que faciliten que la comunidad a impactar asuma los proyectos con autonomía en aspectos de monitoreo y administración.

En este sentido, y apoyado en los hallazgos obtenidos en los elementos evaluados y descritos

anteriormente, se evidencia como una oportunidad desarrollar un modelo integral que permita evaluar los proyectos de generación de energía a partir de fuentes renovables, y que quizás a futuro, con algunas modificaciones o ajustes, pueda ser usado por otro tipo de proyectos.

Por lo anterior se considera apropiado, y además alineado con los objetivos de la Alianza Energética 2030, evaluar la viabilidad multidimensional y de esta manera minimizar los riesgos de la no adopción de los proyectos o lo que quizás podría ser más nocivo, y son proyectos inconclusos y dejados a medio camino donde se afectan no solo las comunidades, el medio ambiente, sino además las finanzas de un país y por ende la de los contribuyentes de una nación.

1.3 Problema / Necesidad

Dentro de la literatura analizada hasta el momento se ha evidenciado que existen metodologías para la evaluación independiente de los cuatro aspectos, sin embargo, no se ha encontrado un modelo estructurado que integre y evalúe la viabilidad multidimensional en proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Por lo tanto, lo que se propone, a partir de la revisión del estado del arte y elementos de construcción propia, es integrar un modelo que abarque los cuatro aspectos y que permita obtener una calificación global, una valoración unificada de las cuatro áreas que facilite la decisión respecto de la viabilidad o no de este tipo de proyectos.

Mas adelante, en la sección del estado del arte, se muestran algunos de los elementos encontrados a nivel de metodologías para el análisis individual de estas cuatro áreas 2.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Integrar un modelo de valoración del impacto multidimensional, a través de la articulación de métodos de cuantificación independientes o combinados ya existentes con el fin de evaluar la dimensión técnica, económica, social y medioambiental de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar las metodologías encontradas en el estado del arte haciendo uso de una matriz de valoración con el fin de seleccionar las más adecuadas para el análisis de proyectos del sector energético.
- Integrar un modelo multidimensional combinando las mejores prácticas para evaluar la viabilidad técnica, económica, social y medioambiental a fin de aplicarla a un caso de estudio del

sector energético.

- Desarrollar un análisis multidimensional para proyectos de generación de energía a partir de fuentes renovables aplicando el modelo propuesto para determinar la viabilidad de su aplicación y el adecuado análisis a partir de los resultados obtenidos.
- Evaluar la viabilidad del modelo multidimensional a partir de los resultados de su aplicación para determinar los aspectos que viabilizan el desarrollo del proyecto.

1.5 Alcance

Bajo el entendido de que se trata de un proyecto de grado de una maestría en profundización, no habrá una experimentación dado que no es el objeto de estudio.

Ahora, frente a lo que se proyecta tener dentro del desarrollo de la maestría se encuentran los siguientes aspectos:

- Búsqueda del estado del arte de diferentes metodologías que permitan evaluar la viabilidad técnica, económica, social y medioambiental.
- Analizar estas metodologías encontradas y extraer la mejores practicas
- Integrar un modelo de valoración del impacto multidimensional acorde a las necesidades adaptadas al caso de estudio
- Aplicar y evaluar la aplicación del modelo propuesto a la Estación de carga como caso de estudio

1.6 Metodología

La figura 1.1 muestra esquemáticamente los pasos a seguir dentro de la metodología propuesta. A continuación, se describe, brevemente, en que consiste cada una de las etapas de la metodología utilizada en el desarrollo de este proyecto de maestría, y que se documenta en este manuscrito.

Se inicia con la lectura, el análisis y la evaluación de artículos, distintos tipos de bibliografía y literatura científica que documenta distintas metodologías aplicadas en proyectos relevantes que se han realizado en el mundo y en Colombia y que han sido evaluados en todas o en alguna de las cuatro áreas que se integran en el desarrollo del trabajo de grado.

De manera más detallada, el análisis se concentra, principalmente, entorno a Proyectos de Generación de Energía Eléctrica a partir de Fuentes Renovables (PGENFUR) que son evaluados desde el punto de vista Técnico, Económico, Medio Ambiental y Social, para evidenciar su viabilidad en alguno(s) de estos aspectos.

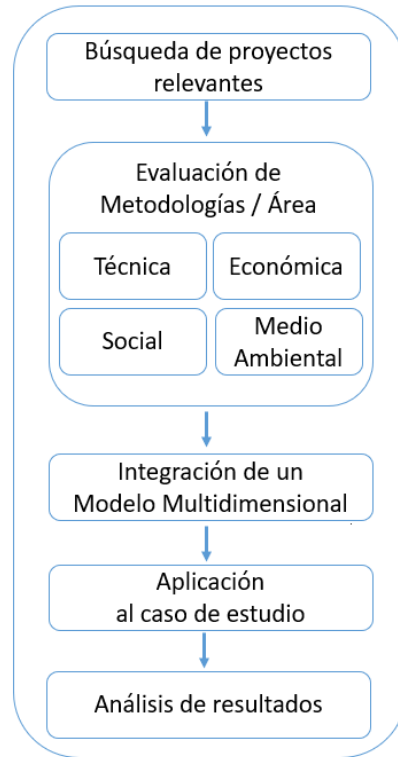


Figura 1.1: Metodología propuesta

En segunda instancia se analizan las distintas herramientas, métodos o indicadores utilizados en estos proyectos para evaluar la viabilidad de los proyectos en cada una de las áreas evidenciando las principales diferencias, su aplicabilidad, y ventajas comparativas.

Luego se avanza hacia la pregunta de cómo realizar la integración a nivel metodológico de las evaluaciones en los cuatro aspectos para posteriormente, proponer un método multidimensional compuesto por las metodologías o herramientas más adecuadas dentro del análisis previo y que permiten evaluar la viabilidad técnica, económica, medioambiental y social.

Teniendo seleccionadas las metodologías más destacadas en cada una de las áreas evaluadas, estas son insertadas en una sola matriz facilitando la evaluación y el análisis integral de los resultados en las cuatro áreas.

Luego de ello, y como una forma de validación de la propuesta, se aplica a la estación de carga solar del proyecto 3 con el objetivo de validar su pertinencia y aplicabilidad en la obtención de los resultados que permitan verificar si el proyecto cumple con los parámetros suficientes para ser considerado como viable.

Una vez se tienen los resultados de la aplicación del modelo se procede a realizar el análisis de los resultados para determinar la viabilidad del proyecto en las cuatro dimensiones.

Como elemento complementario, se relacionan una serie de recomendaciones que podrían ser

adoptadas en cada una de las áreas evaluadas, con el objetivo de lograr la viabilidad del proyecto, en aquellos casos donde los análisis iniciales ofrezcan como resultado que el proyecto no alcanza los niveles aceptables para ser considerado viable.

Finalmente, se ofrecen una serie de conclusiones, producto del análisis de la aplicación de esta metodología al igual que su aplicación en el caso de estudio, elementos que podrían aplicarse en proyectos de características similares a éste.

Capítulo 2

Revisión de literatura

La revisión de la literatura actual, frente a los elementos tratados dentro del proyecto de maestría, es abordada desde las cuatro áreas que componen el análisis de la viabilidad multidimensional.

El estudio de la viabilidad técnica, económica, medioambiental y social de cualquier proyecto de generación de energía, permite dar a conocer las condiciones iniciales que tendrá el producto a diseñar. De ello se derivan una serie de indicadores que son consecuentes en cada una de las dimensiones de estudio anteriormente mencionadas, las cuales tienen un peso importante para proyectos de esta índole, dando a conocer valores como: Valor Presente Neto (VPN), Análisis del Ciclo de vida (ACV), VPN Social, Autoconsumo (SC), entre otros; que permitirán la integración de un modelo de análisis multidimensional con el fin de definir cada uno de los elementos necesarios para ejecutar dicho proyecto y su posterior puesta en marcha (UPME et al., 2015).

Se tiene una sección por cada una de las cuatro áreas y para cada una de ellas se realiza la exploración de la literatura y casos de éxito en la aplicación de distintos métodos y herramientas para su evaluación, así como también la forma de tabular y calificar los resultados obtenidos en su aplicación y la posterior decisión a partir de los mismos.

2.1 Evaluación Técnica

De acuerdo con la literatura encontrada, la evaluación técnica es un área abordada por la mayoría de los investigadores a través de métodos de optimización que buscan encontrar las mejores combinaciones de tecnología, formas de producción y nuevos métodos que permitan obtener sistemas de generación solar fotovoltaica más eficientes teniendo en cuenta las condiciones geográficas de los lugares donde se instalan los proyectos.

Para alcanzar los objetivos propuestos en el desarrollo de una evaluación técnica es importante identificar los modelos y metodologías adecuadas para un determinado proyecto de tal manera que

permitan determinar su viabilidad y así formular, gerenciar y ejecutar los distintos procesos minimizando riesgos fundamentalmente relacionados con la conveniencia de invertir en un determinado proyecto.

Las diferentes metodologías de evaluación de proyectos suelen ser complejas debido a las dimensiones de cada proyecto, factores de suma importancia como el análisis financiero, pasando por aspectos sociales, medioambientales y técnicos que se clasifican de forma cuantitativa o cualitativa, pueden llegar a generar diversos problemas en la toma de decisiones para determinar la viabilidad del proyecto. En este sentido, una adecuada aplicación de cada una de las evaluaciones permitirá tener un enfoque más preciso para obtener los resultados deseados.

Diversos estudios realizados han sido utilizados para ayudar a determinar la forma en la que se puede analizar y documentar la correcta ejecución de un proyecto en las comunidades que van a ser impactadas. El Departamento de Energía de los Estados Unidos, para citar un ejemplo, publicó un reporte técnico en el cual se realizaron diversos análisis que les permitieron concluir que el estado, y en particular los gobiernos locales, deben hacer frente a los diferentes impactos medioambientales y sociales, pero que estos últimos dependen en gran medida de tres factores interrelacionados; la disponibilidad y el uso oportuno de la información dentro del proyecto y hacia la comunidad, un marco de planificación integral y por último involucrar activamente a las comunidades en la configuración y aprobación de los proyectos (Olsen et al., 1978).

De acuerdo con el tipo de industria y sector económico en el cual se desarrolla el proyecto se debe tener en cuenta la metodología que se usará para su desarrollo, dado que los métodos y técnicas que se emplean en la ejecución de un proyecto, suelen ser muy diversas dependiendo de su naturaleza. Además es importante tener un claro entendimiento de los procesos y técnicas actualizadas que permitan incrementar las posibilidades de analizar adecuadamente su viabilidad.

Un ejemplo claro se da en el sector tecnológico donde se desarrolló una investigación para determinar las mejores metodologías para ser aplicadas a proyectos de virtualización informática. El estudio partió de metodologías como ITIL, PMI y Stage-Gate y un adecuado análisis y correcta aplicación de evaluaciones técnicas permitieron identificar las principales diferencias entre estas metodologías y así ayudar a identificar la metodología más apropiada para su proyecto. De igual manera se determinó que una combinación de metodologías podrían garantizar el éxito del proyecto a la par del uso adecuado de las tecnologías y metodologías más actualizadas que se pueden aplicar a esta industria (Olsen et al., 1978).

Un caso de éxito adicional en el cual se aplican de manera adecuada las diversas metodologías para la evaluación de proyectos, incluyendo principalmente la evaluación técnica, fue en el desarrollo del proyecto de inversión en un sistema de preparación de pastas para una fábrica de papel, lo cual fue documentado en el artículo científico “Evaluación tecnológica del proyecto del sistema de preparación

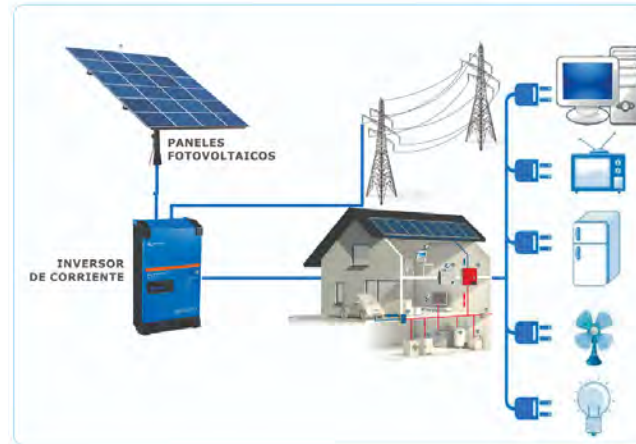


Figura 2.1: Sistema on-grid (Green Energy, 2023)

de pastas en la fábrica de papel Pulpa Cuba”, el cual documenta que el objetivo era aplicar las metodologías de evaluación, lo que permitió analizar los beneficios en la reducción de procesos de consumo de energía y agua, el análisis de la evaluación y aplicación de nuevos sistemas para la mejora de procesos de producción, y finalmente el resultado de estos análisis dieron como resultado que la implementación de las mejoras analizadas en las evaluaciones permitirían un ahorro cercano al 30% de los recursos y un retorno de inversión menor a los 5 años (Hernández-Touset et al., 2012).

Un elemento adicional, y mucho más específico dentro de lo técnico, son los tipos o clases de estaciones de carga, de de las cuales tres de ellas se relacionan a continuación.

- Las primeras son las estaciones conectadas a la red de energía, estas son las llamadas **on-grid**, las cuales acceden a la fuente de energía eléctrica de la red convencional o red de distribución de energía. Este tipo de estaciones tienen una forma de instalación que incluyen la compatibilidad eléctrica y las protecciones requeridas para su correcta operación.
- El segundo tipo son las estaciones desconectadas de la red de energía, llamadas también **off-grid**, en las cuales la fuente de energía no es la red convencional por lo cual depende de alguna fuente alternativa, acompañada, en la mayoría de los casos, por un sistema de almacenamiento de energía. Un caso común de esta configuración es el que usa paneles solares cargando baterías.
- El tercer tipo es una combinación entre las dos anteriores, comúnmente conocida como estaciones de carga **híbridas**. Este tipo de estaciones está conectada a la red eléctrica convencional pero además tiene su propia forma de generación de energía y fuentes de acumulación de energía, es decir, sus baterías.

Las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 muestran de manera esquemática las características y diferencias entre los sistemas de carga **on-grid** y **off-grid** y un **sistema híbrido**.



Figura 2.2: Sistema off-grid (Green Energy, 2023)

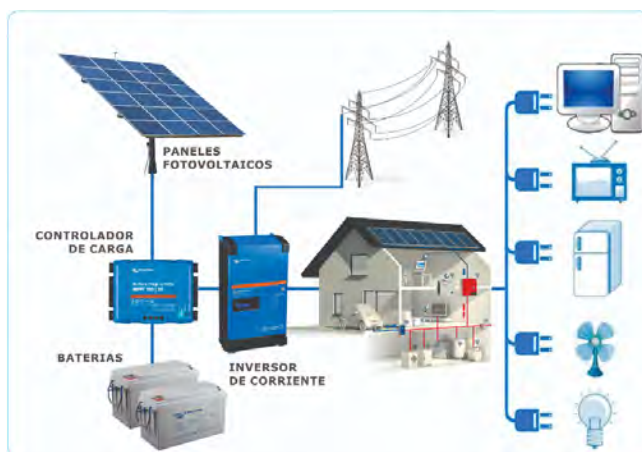


Figura 2.3: Sistema híbrido (Green Energy, 2023)

2.2 Evaluación Económica

En el desarrollo de cualquier proyecto se requiere de una determinada inversión económica que permita financiar todos los procesos que se requieren para su culminación. Algunas investigaciones proponen modelos de evaluación de proyectos mediante la utilización de mejores prácticas en gerencia y estándares que permitan estructurar proyectos sostenibles en el tiempo (Hernández and Villacís Aguilera, 2016).

De igual manera es preciso establecer una herramienta que permita definir cada uno de los elementos vinculados con el capital requerido, para que este se lleve a cabo. Los términos involucrados en este análisis, son conocidos en el ámbito económico como “indicadores financieros”, los cuales expresan las mediciones de flujos de caja, en función de los ingresos y los egresos futuros que tendrá el proyecto, tomando en cuenta la inversión inicial y obteniéndose un resultado final, con el cual se pueda interpretar la utilidad que se genera a través del mismo (García et al., 2013).

Una adecuada evaluación económica permite incrementar los niveles de éxito en proyectos de diversas industrias. Prueba de ello es que existe gran cantidad de evidencia documentada en la cual se expresa la necesidad de evaluar los proyectos en condiciones de incertidumbre, limitando los errores que se pueden cometer y facilitando la correcta identificación de los beneficios versus los costos del proyecto.

El estudio de De Lama & Vinelli (2021), titulado “Estudio de prefactibilidad para la instalación de un modelo de negocio leasing de paneles solares”, destaca que, en cuanto a la dimensión económica de este tipo de proyectos, el consumo de la energía ha ido en incremento proporcional al cobro de su tarifa, por lo que el cobro de la generación de la misma resulta rentable. Aún así, destaca la importancia proveniente del atractivo SFV el cual, puede ser autosostenible, desde el punto de vista del precio total del sistema e instalación. Esto representa una oportunidad para proyectos de generación de energía limpia, proveniente del SFV, aún cuando este no tenga un cobro inicial para los usuarios, dado que su plan de mantenimiento involucra un menor número de pasos para su sostenibilidad en el tiempo.

(Londoño Zuluaga et al., 2019) sostiene que, es relevante que, los criterios que son tomados en cuenta para la evaluación financiera, recaigan en la rentabilidad deseada, luego de haber recuperado la inversión, tomando en cuenta el criterio base de toma de decisiones en el contexto de generación de energía, con el fin de obtener la mayor cantidad posible de utilidad del proyecto. De esto, derivan los primeros cuatro indicadores (VPN, TIR, PRI y FRC), introduciendo un quinto, referido al coste teórico de generar energía eléctrica y fundamental para completar el análisis de costos del mismo durante la vida útil de la tecnología propuesta en el presente estudio, como lo es el LCOE.

De acuerdo con el estudio titulado “Evaluación de un proyecto hidroeléctrico a partir del análisis de las leyes 1715 de 2014 y 1819 de 2016”, los cinco indicadores mencionados anteriormente, se deben considerar para el estudio de este tipo de proyectos de generación de energía proveniente de fuentes

limpias, en los cuales se señala que, de acuerdo con la evaluación financiera de un proyecto de esta cualidad, es relevante el estudio de todos aquellos elementos que sean cuantificables, proponiendo como objetivo la viabilidad de la inversión y posterior aplicabilidad (Londoño Zuluaga et al., 2019).

La UPME destaca que, de acuerdo con los principales instrumentos de la ley 1715 de 2014, en Colombia no se han puesto en práctica los mecanismos necesarios para el apoyo evidente de proyectos a pequeña escala para la posibilidad de autogenerar energía proveniente de excedentes de la red y de hecho en mayor medida de la solar foto voltaica - FV. De acuerdo con la ley 1715, los beneficios que contiene la generación de energía limpia para ser distribuida sin ningún tipo de remuneración inmediata, con un 50% de recuperación de la inversión hasta por 15 años, ha dejado un espacio para el aprovechamiento de estas fuentes, considerando su relación con la energía proveniente de la red, tomando en cuenta factores como: puesta en marcha, mantenimiento, materia prima, insumos, etc (UPME et al., 2015).

Estudios han demostrado que por medio de técnicas como la simulación es altamente eficaz para analizar proyectos y determinar su riesgo con respecto a los costos y el beneficio. El objetivo de la simulación en la evaluación económica de proyectos es determinar la distribución de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y analizar la probabilidad mínima de culminar el proyecto.

El diseño de procedimientos que faciliten la aplicación correcta de las metodologías de evaluación económica es clave para realizar un control efectivo y un análisis preciso de la salud financiera de un proyecto, incrementando así las posibilidades de éxito en la inversión. La utilización de herramientas como el VPN, la TIR y el FRC posibilita el desarrollo de análisis que permiten la aplicación de estos instrumentos en todas las fases de ejecución del proyecto, asegurando un control económico óptimo de los recursos financieros

Los estudios llevados a cabo sobre estas metodologías y técnicas de evaluación han revelado casos exitosos, como la investigación del profesor Ronald Rojas Alvarado de la Especialización en Gestión Integral de Proyectos del Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de San Buenaventura Cali. Su proyecto, titulado "Implementación de técnicas de gestión en las áreas de la gerencia de proyectos en organizaciones", destaca por diseñar un procedimiento enfocado en el uso de herramientas de metodologías de evaluación económica. El objetivo principal es desarrollar una herramienta aplicable a proyectos que requieran evaluación económica (Hernández and Villacís Aguilera, 2016).

Durante todas las etapas de un proyecto, ya sea antes, durante o después de su ejecución, pueden surgir diversas situaciones. Es crucial analizar todos los factores y variables que aseguren el éxito del proyecto, generando planes de contingencia para mitigar riesgos, especialmente aquellos que puedan afectar la inversión económica. La escasez de recursos disponibles es uno de esos factores críticos que pueden poner en peligro el desarrollo del proyecto. La evaluación económica emerge como una herramienta fundamental para gestionar la ejecución del proyecto de manera adecuada. Se apoya en

diversas técnicas, como el análisis de minimización de costos, el análisis costo-eficiencia, el análisis costo-utilidad y el análisis costo-beneficio, buscando lograr un éxito económico en la administración de los recursos financieros invertidos.

Finalmente, es crucial resaltar que una de las principales barreras en la migración hacia el uso de energías renovables es el factor económico asociado a este tipo de energías. Aunque el empleo de tecnologías para la extracción de energía renovable supone una mejora significativa en el impacto ambiental, es esencial analizar detenidamente el costo de producción de energía renovable en comparación con otros métodos de generación de energía. Estudios han indicado que es necesario optimizar el costo de producción de energía fotovoltaica para alcanzar niveles económicos competitivos con respecto a otras fuentes de energía renovable, como la energía eólica.

2.3 Evaluación Medioambiental

En el estudio medioambiental de proyectos de generación de energía, es esencial considerar cada factor que influye en el proceso de fabricación. Según (Pinto, 2017), en su investigación titulada "Análisis de ciclo de vida comparativo para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable y convencional", se tienen en cuenta las materias primas y la disposición final de los materiales al llegar al final de su vida útil. Para ello, es necesario llevar a cabo un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del producto, estableciendo correctamente el inventario de materiales en cada etapa. Este sirve como base para la aplicación de diversas metodologías relacionadas con la carga medioambiental en el desarrollo de estaciones de carga.

Un ejemplo significativo se encuentra en la industria de la construcción, donde múltiples investigaciones indican que es una de las principales fuentes de contaminación ambiental a nivel mundial. Los impactos más significativos incluyen generación de polvo, remoción de vegetación, contaminación acústica y atmosférica. Estos impactos se clasifican en las categorías de ecosistema, recursos naturales e impacto comunitario. Por lo tanto, se recomienda mejorar los procesos y conocimientos en las evaluaciones de impacto ambiental para reducir estos impactos negativos y lograr una óptima recuperación del ecosistema (Enshassi et al., 2014).

La investigadora Yiezenia Rosario Ferrer de la Universidad de Caldas, en su documento "Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros", realiza un estudio de los procedimientos y métodos más utilizados para evaluar los impactos medioambientales en la industria minera. Debido a la constante degradación del ecosistema y los graves daños en el entorno de las ciudades donde se ejerce esta industria, la investigación propone una metodología que permite realizar un seguimiento, identificar variaciones y conocer el estado en un momento determinado de la ejecución del proyecto, comprobando la efectividad de la evaluación en el medio ambiente (Ferrer, 2016).

No es un secreto que nuestro planeta posee recursos finitos, y a medida que el ser humano ha

evolucionado, se han presentado grandes impactos ambientales en el ecosistema. En este sentido, el objetivo de las industrias debe ser desarrollar metodologías para ejecutar proyectos que reduzcan el impacto ambiental y permitan la recuperación rápida del ecosistema afectado. Además de las normativas ambientales implementadas en Colombia, que deben ser asumidas por las empresas que realicen modificaciones o captaciones de algún componente medioambiental.

El documento "Estado del arte de las metodologías para la evaluación ambiental en proyectos de inversión" expone los resultados de un estudio que utilizó metodologías para la evaluación medioambiental de proyectos de inversiones. Estas metodologías se aplican en diversas industrias y permiten analizar y documentar los datos necesarios para el éxito en la ejecución de los proyectos. El documento presenta un análisis de estos estudios, que resultó en una calificación de los temas tratados con relación al impacto ambiental (Contreras, 2015).

A nivel mundial, gobiernos y organizaciones se centran cada vez más en el cuidado del medio ambiente y las repercusiones que pueden presentarse en el desarrollo de proyectos industriales. Existen certificaciones de Sistemas de Gestión Ambiental (EMS) como la ISO 14001, que contiene normas para que las organizaciones cubran los aspectos del cuidado del medio ambiente. La estructura de estos sistemas se basa en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), pero para garantizar el éxito del proyecto en cuanto al impacto que pueda generar, estas evaluaciones deben aplicarse correctamente.

A pesar de la legislación en la cual el gobierno de Colombia regula la evaluación de impactos ambientales, estudios evidencian la poca calidad de estos, presentando falencias en el desarrollo de las metodologías, lo cual sesga los resultados de los análisis. Colombia, con su amplia biodiversidad, corre el riesgo de un ecosistema en peligro debido a la falta de una ejecución adecuada de políticas ambientales. Por lo tanto, se deben explorar distintas metodologías diseñadas para la correcta elaboración de los análisis y la documentación de los resultados para reducir no solo el impacto ambiental sino también los errores en las evaluaciones ambientales.

La revista "Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia" expone los métodos utilizados para evaluar los impactos ambientales de los Proyectos, Obras y Actividades (POA) que solicitaron licencias ambientales ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Estas licencias son requeridas para la construcción y operación de los proyectos y se basan en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). La importancia de estas licencias no solo radica en que son de carácter obligatorio, sino también para garantizar la reducción del impacto causado y la recuperación del ecosistema afectado (Toro Calderón et al., 2013).

La revista "Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia" expone los métodos utilizados para evaluar los impactos ambientales de los Proyectos, Obras y Actividades (POA) que solicitaron licencias ambientales ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Estas licencias son obligatorias para la construcción y operación de los proyectos y se basan en la

Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). La importancia de estas licencias no solo radica en que son obligatorias, sino también en garantizar la reducción del impacto causado y la recuperación del ecosistema afectado (Toro Calderón et al., 2013).

Paralelamente, el consumo energético en el mundo es cada vez más alto, y la humanidad requiere cada vez más energía para satisfacer las necesidades de la sociedad. Con el surgimiento de nuevas industrias en el sector tecnológico, se están desarrollando tendencias informáticas que permiten mantener al mundo conectado en la era de la información. Sin embargo, estas tecnologías requieren niveles elevados de consumo energético para operar.

Los centros de datos o Data Centers, donde se almacenan todas las bases de datos y recursos digitales, también se están convirtiendo en importantes consumidores de energía. Muchas empresas y organizaciones de este sector están desarrollando nuevos centros de datos "verdes" o con uso de energías limpias que incorporan fuentes de energía renovable para limitar su huella de carbono y su impacto ecológico.

Las buenas prácticas durante el desarrollo de un proyecto permiten lograr aspectos positivos en el ecosistema. La industria de la construcción está en crecimiento a nivel mundial debido a la alta demanda de viviendas y al crecimiento exponencial de la sociedad. Estos proyectos generan residuos que afectan no solo al medio ambiente, sino también a los costos financieros para su procesamiento. Es de gran importancia determinar las causas que generan estos residuos e implementar métodos de construcción que, a partir de técnicas de buenas prácticas, permitan reducir los residuos que afectan al ecosistema y reciclar y recuperar aquellos que no solo ayudarían a reducir el impacto ambiental sino también ahorrar costos en su tratamiento.

Existen diferentes métodos, metodologías y procedimientos para evaluar los impactos ambientales, ya sea para abordar la evaluación del estado del medio ambiente en su conjunto o para analizar específicamente alguno de sus factores. Al adoptar metodologías para la evaluación del impacto ambiental, es crucial considerar ciertas características deseables, que abarcan los siguientes aspectos (Parra et al., 2015):

- Deben ser adecuados para las tareas de identificación de impactos y comparación de opciones.
- Ser lo suficientemente independiente de los puntos de vista del personal del equipo evaluador.
- Ser económicos en términos de costos, requerimientos de datos, tiempo de aplicación, etc.

La selección de una determinada técnica o metodología de evaluación dependerá de las necesidades específicas de los usuarios y del tipo de proyecto bajo análisis.

Las metodologías de evaluación medioambiental, están orientadas a la identificación, predicción y evaluación de impactos, cubren un amplio espectro y no pueden ser rígidamente separadas y clasificadas.

Una primera clasificación de las metodologías de evaluación medioambiental, de manera simple, sería:

- Metodologías cualitativas
- Metodologías cuantitativas

Dentro de las metodologías cualitativas, existe un cierto número de modelos, y un modelo es una cierta representación de la realidad mediante la cual se busca describirla y analizarla (Caro-González, 2016).

Considerados como tales, los modelos son el equivalente a los elementos e interrelaciones del sistema real y pueden ser utilizados para evaluar la magnitud de los impactos en estudios detallados que permitan aproximaciones cuantitativas.

A menudo es posible obtener una evaluación útil del impacto sobre el ambiente utilizando modelos sencillos. La simulación simple es la construcción de modelos de simulación preliminares cuyos resultados deben interpretarse más en términos de tendencias y posibilidades, que en términos de predicciones numéricas exactas.

Hay que tener en cuenta que los modelos de simulación tienen una estructura básica que depende de características y propiedades consideradas en los sistemas ambientales, y que la calidad del modelo depende considerablemente de la calidad de los supuestos de partida, así como de su tratamiento.

Warner y Browley, en el año 1974, clasificaron las metodologías para la evaluación de impactos en cinco grupos; Métodos "ad hoc", técnicas gráficas mediante mapas y superposiciones, listas de chequeo, matrices y diagramas (Caro-González, 2016).

2.3.1 Clasificación de metodologías según Dickert

Probablemente, sea Dickert quien estableció la clasificación más clara y eficaz refiriéndose a las funciones analíticas de cada modelo. En ella se consideran las funciones analíticas, de identificación, predicción y evaluación (Caro-González, 2016).

a. Función analítica: Identificación

Metodología:

- Descripción del sistema ambiental existente
- Determinación de los componentes del proyecto
- Definición de las alteraciones del medio causadas por el proyecto (incluyendo todos los componentes)

b. Función analítica: Predicción

Metodología:

- Identificación de las alteraciones ambientales significativas.
- Revisión del cambio cuantitativo y/o espacial en el medio ambiente identificado.
- Estimación de la probabilidad de la que el impacto del cambio neto ambiental ocurra en el tiempo.

c. Función analítica: evaluación

Metodología:

- Determinación de la incidencia del costo. Beneficios de los grupos de usuarios y en la población afectada por el proyecto.
- Especificación y comparación de relaciones costo beneficio entre alternativas.

2.3.2 Clasificación de instrumentos más usados

De una cifra cercana a las 50 metodologías de evaluación del impacto ambiental, solo algunas de ellas gozan de una aplicación práctica y sistemática.

Basados en la clasificación de Dickert, se propone un posible orden que puede servir de orientación en la clasificación de los instrumentos más frecuentemente utilizados en la evaluación de impactos ambientales (Caro-González, 2016).

2.3.2.1 Métodos de identificación

- Listas de revisión de causa efecto ambientales con descripción de parámetros del proyecto con posible incidencia y de los factores ambientales.
- Indicadores de alteración del medio.
- Cuestionarios generales o específicos
- Matrices causa efecto donde se relacionan acciones humanas con indicadores de impacto en cuadros de doble entrada.
- Matrices cruzadas. Donde los factores ambientales afectados aparecen tanto en filas primarias como en columnas secundarias, respetándose su interrelación en el correspondiente cuadro de la matriz.
- Diagramas de flujo que establecen las relaciones de causa efecto.
- Experiencias recogidas en situaciones similares. Escenarios comparados.

- Métodos gráficos, superposición de transparencias.
- Listas de control
- Redes de interacción.

2.3.2.2 Métodos de previsión o predicción

Suelen emplearse modelos reducidos, informáticos y matemáticos, y Físicos complementados con una serie de ensayos y pruebas experimentales in situ. Su objetivo es predecir las alteraciones de la mañana en magnitud por un proyecto o acción sobre el aire, el agua, el suelo, el paisaje, etcétera.

Informáticos

- K-SIM
- G-SIM
- IMPRO

Físico-matemáticos

- Móviles de difusión de contaminantes en la atmósfera o dilución de contaminantes en el agua.
- Modelos de previsión del grado de eutrofización.
- Modelo de incidencia sobre factores climáticos de los embalses.

2.3.2.3 Métodos de evaluación

Se orientan a calcular la evaluación neta del impacto ambiental y la evaluación global de los mismos. Entre ellos se encuentran:

- Modelo de Columbus.
- Modelo propuesto por Vicente Conesa.
- Modelo propuesto por Domingo Gómez Orea

A continuación, se realiza una descripción de una las metodologías más frecuentemente utilizadas en la elaboración de los estudios de impacto ambiental, analizando las ventajas e inconvenientes que puede conllevar (Caro-González, 2016).

Modelo causa efecto método de Leopoldo

Es el primer método utilizado en la evaluación de impacto ambiental. Se originó como una consecuencia de un encargo para el servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos en 1971.

Realmente se trata de un método de identificación, esto es, un sistema de información más que de evaluación que permite una primera aproximación al impacto, identificando las interacciones existentes entre las acciones provenientes del proyecto y los factores del medio. Además, es cualitativo, no sistemático, ya que no ordena el proceso a seguir a partir de los datos existentes generados en cuanto a la magnitud de defectos, valores de calidad ambiental resultante o ponderación de los mismos efectos de comparación, sino que deja estas evaluaciones a juicio del realizador del estudio, ofreciéndole un sistema de base de datos y síntesis de estos.

Se compone de una tabla de doble entrada en cuyas columnas figura una lista de actividades precisas para el desarrollo del proyecto y en las filas, una relación de indicadores de impacto, es decir, de aquellos factores del medio susceptibles de recibir impacto.

El modelo se basa, por tanto, en una matriz en la que vienen reflejadas un total de 100 acciones, posibles causantes del impacto y 88 factores susceptibles de ser afectados.

2.4 Evaluación Social

La prioridad para gobiernos y organizaciones es mantener la adecuada salud mental de los individuos que habitan en una sociedad. Por lo tanto, es necesario analizar a fondo los beneficios o perjuicios que puedan impactar a los miembros de una comunidad. La evaluación social es el proceso de identificación, medición y valorización de los beneficios y costos de un proyecto desde el punto de vista del bienestar social.

Al analizar los beneficios y costos para la sociedad, se busca maximizar el bienestar colectivo antes, durante y después de la ejecución del proyecto. Para lograr una adecuada evaluación, es vital profundizar en las diferentes metodologías y obtener un resultado óptimo.

Dado que la evaluación social de proyectos se lleva a cabo antes, durante y después de la ejecución, las variables utilizadas en el análisis pueden cambiar debido a diversos factores como costos, riesgos ambientales, entre otros. Puede haber errores al aplicar las metodologías, y los resultados pueden ser complejos de objetivar. Existe el riesgo de que estas herramientas se perciban solo como obstáculos burocráticos necesarios para ejecutar el proyecto, perdiendo así el valor que esta evaluación puede aportar para el éxito del mismo. Es crucial aplicar estas herramientas y metodologías de manera correcta para lograr el éxito.

Al momento de realizar la Evaluación de Impacto Social (EIS), normalmente se suelen medir los costos y beneficios del proyecto (generación de energía limpia), considerando los aspectos relevantes de lo económico, político y social del mismo. Existen algunos proyectos que reflejan rentabilidades elevadas en términos sociales, pero que generan en contraparte otros beneficios que no son posibles de cuantificar en otras áreas.

Sin embargo, de acuerdo con la publicación del Banco Interamericano de Desarrollo, desarrollada

por (Kvam, 2018), titulada “Evaluación del Impacto Social. Integrar las cuestiones sociales en los proyectos de desarrollo”, se menciona la importancia de la evaluación privada de un proyecto, centrado en los indicadores de precios de mercado, tomando en cuenta que, la evaluación social lo hace con precio sombra, apuntando siempre hacia la medición del efecto de implementar un proyecto sobre la comunidad de estudio, considerando las externalidades que se generan sobre el bienestar de la comunidad, como el hecho de la disminución de espacio, cambio en las costumbres, aprovechamiento de los recursos de la zona, entre otras.

En este sentido, la evaluación social tiene por objeto, el estudio del impacto del proyecto en la economía en general, considerando la equidad (efecto de la distribución del ingreso) y redistribución, por medio de la medición del impacto sobre el consumo, ahorro y bienes meritorios. Es por esto que, identificar las variables que influyen de manera positiva o negativa en la ejecución y operación del proyecto, determinan y le dan valor al alcance que este tiene en la distribución de ingresos y riqueza de la región de estudio. Por lo tanto, la evaluación social está compuesta por el análisis de eficiencia de los impactos del proyecto y los aspectos de equidad (Kvam, 2018).

La importancia de la evaluación social radica en la capacidad de analizar y comparar los costos de inversión y operación con los beneficios que el proyecto puede generar. Esto permite identificar oportunidades de inversión que generen valor tanto para las empresas como para la comunidad involucrada, cualificando las posibilidades de éxito.

Cada comunidad tiene su diversidad cultural basada en tradiciones y otros componentes psicológicos que determinan el comportamiento y las reglas sociales. El desarrollo de un proyecto debe analizar a fondo, a través de metodologías para la evaluación social, todos los factores psicológicos que el proyecto pueda generar en los habitantes del sector y sus posibles repercusiones. Es necesario aplicar metodologías y procedimientos que establezcan estrategias para mejorar el impacto social, sugiriendo métodos democráticos que fomenten la participación y autogestión de los participantes sin comprometer las reglas de desarrollo del proyecto.

En Ecuador, investigadores han analizado y evaluado los impactos que experimentan los usuarios de paneles solares fotovoltaicos en comunidades aisladas. Sus resultados han evidenciado cambios favorables en aspectos económicos, sociales y medioambientales de la región. Los beneficios también favorecen la sostenibilidad del proyecto, evidenciando el éxito de una buena aplicación de las evaluaciones sociales en una comunidad relacionada al proyecto (Prado, 2020).

Colombia, considerado un país con altos niveles de riqueza de recursos naturales, ha desarrollado grandes proyectos de producción de energía eléctrica a través de centrales termoeléctricas e hidroeléctricas. La generación de energías limpias y renovables, especialmente la energía solar fotovoltaica, toma cada vez más fuerza en el país. Estas tecnologías tienen un impacto social y económico significativo, siendo de fácil implementación y sostenibilidad a lo largo de la geografía nacional.

El sector de la construcción no solo tiene consecuencias económicas, sino también un gran impacto social. Los habitantes más cercanos a estos proyectos de infraestructuras son los principales implicados, y evaluar correctamente la situación implica considerar tanto el impacto del proyecto como las consecuencias negativas de su ausencia. Proyectos de infraestructura pueden solventar dificultades en comunidades específicas, y es crucial concientizar a la comunidad sobre los cambios positivos que estos proyectos pueden aportar para mejorar su calidad de vida.

En el análisis de esta dimensión, se debe incluir lo que el proyecto trae como beneficio o perjuicio a nivel de generación de energía en la comunidad donde se va a instalar el producto final. Se deben plantear consideraciones pertinentes referidas a los diversos escenarios posibles, previendo qué sucedería si el proyecto no se llevara a cabo y qué ocurriría si culmina de manera exitosa.

Debido a esta exposición y los factores de mayor relevancia (fauna, flora, actividades, entre otras) vinculados a dicho espacio, se plantea y lleva a cabo el correspondiente análisis social, a través del cual será posible realizar el correcto estudio de impacto para el proyecto.

Los principales inconvenientes que se presentan frente a la explotación de las energías renovables a gran escala, respecto a las energías convencionales, se centra en la disponibilidad geográfica de los recursos como: viento, agua y sol, tomando en cuenta los altos potenciales de explotación en algunos sitios del mundo. Esto, sumado a la variabilidad en los recursos, ya que la capacidad de generación se encuentra asociada directamente a las variaciones de una hora a la otra o entre el día y la noche. Otra barrera es la dificultad o imposibilidad en el transporte; a diferencia de los combustibles fósiles estos recursos deben ser utilizados y transformados en electricidad en el punto donde existen y solo así pueden ser transportados (García et al., 2013).

El informe del Estudio de Impacto Social, pone de manifiesto los posibles problemas socioeconómicos evidentes en el momento que se recogen los datos de referencia para el proyecto. En tal sentido se tienen los siguientes aspectos a considerar, los cuales además son descritos en la tabla 2.1 (García et al., 2013).

- Aumento en el uso de energías renovables
- Disminución del espacio en el que se instala el proyecto
- Disminución de materia prima para la construcción del proyecto
- Aumento en la calidad de vida de habitantes de la zona
- Entre otras (Descritas en la tabla 2.1)

Indicadores	Detalles del impacto
Actitudes de la población beneficiada hacia el proyecto	Amparada en la Ley 9 de 1989, artículo 10 de la Constitución se declara la utilidad pública y el interés social en construcción de proyectos de generación de energía
Ubicación y cantidad de espacio que amerita la instalación del proyecto en la zona	Forma en la que cohabitan los estudiantes de EAFIT: creencias compartidas, costumbres, valores, cohesión, servicios e instalaciones (Reglamento de ingreso peatonal y vehicular de EAFIT)
Demografía de la población: tamaño, edad, grupo étnico, género	El proyecto planificado de la SFV no genera cambios considerables respecto al tipo de población de la Universidad EAFIT (Visión social de la EAFIT referente a sus Estatutos Generales)
Porcentaje de población con acceso a uso del producto (Estación de Carga)	De acuerdo con el espacio predeterminado para la instalación del producto, se espera que el 100% de los que ahí estén puedan hacer uso de la Estación de Carga SFV
Disminución del uso de fuentes de energía convencionales	Ley 1715 de 2014 que ampara el uso y regulación integral de energías renovables no convencionales en el Sistema Energético Nacional
Aumento de generación de energía para el público de la zona (calidad de vida)	Artículo 366 de la Constitución en el que se señala el bienestar general y el mejoramiento de calidad de vida con proyectos y finalidades sociales
Disposición de materiales (ciclo de vida producto)	Ley 1259 de 2008 (Gestor Normativo) para la disposición de residuos sólidos luego de haber cumplido con su ciclo de vida
Organizaciones comunitarias/grupos de Defensa del espacio EAFIT	El proyecto planificado de la SFV no genera cambios considerables respecto al tipo de población de la Universidad EAFIT (Visión social de la EAFIT referente a sus Estatutos Generales)
Actitudes hacia el proyecto	Amparada en la Ley 9 de 1989, artículo 10 de la Constitución se declara la utilidad pública y el interés social en construcción de proyectos de generación de energía
Tipo de fuente para la generación de energía	Ley 1715 de 2014 que ampara el uso y regulación integral de energías renovables no convencionales en el Sistema Energético Nacional

Tabla 2.1: Indicadores para el Estudio de Impacto Social

Capítulo 3

Integración de un modelo multidimensional para el análisis de impactos

El propósito de este capítulo es seleccionar los modelos o metodologías que han sido encontradas dentro de la revisión de la literatura, en cada una de las cuatro dimensiones, y determinar cuáles de ellos, se consideran los más adecuados para ser aplicados en el contexto colombiano y más específicamente dentro del contexto dentro del cual se da la instalación de la estación de carga solar. La figura 3.1 ilustra, de manera esquemática, lo descrito previamente.

Para ello este capítulo, abordará de igual manera, cada una de las áreas o dimensiones a ser evaluadas de manera individual, y a partir de la aplicación de estas metodologías o índices se determinará la viabilidad del proyecto que se está evaluando.

Una vez se tengan los índices o calificaciones en cada una de estas cuatro dimensiones, se procederá a evaluarlas todas de manera conjunta, y acumulada, para finalmente determinar, de acuerdo con los niveles de ponderación de las áreas la viabilidad del proyecto.

A partir de este resultado y de su correcta aplicación, los distintos grupos de interés, tales como inversionistas, entes territoriales y comunidades que habitan el espacio donde se plantea desarrollar el proyecto, tendrán la oportunidad de decidir la puesta en marcha o no del proyecto bajo las condiciones que inicialmente fueron analizadas y valoradas, y de igual manera, en caso de que inicialmente el proyecto no sea viable a la luz de esta evaluación, podría ser ajustado en sus diferentes aspectos o componentes con el propósito de que estos ajustes viabilicen el proyecto y de esta manera se pueda dar luz verde a su construcción e implementación.

En la revisión de la literatura y luego de analizados artículos de distintos proyectos, se logra

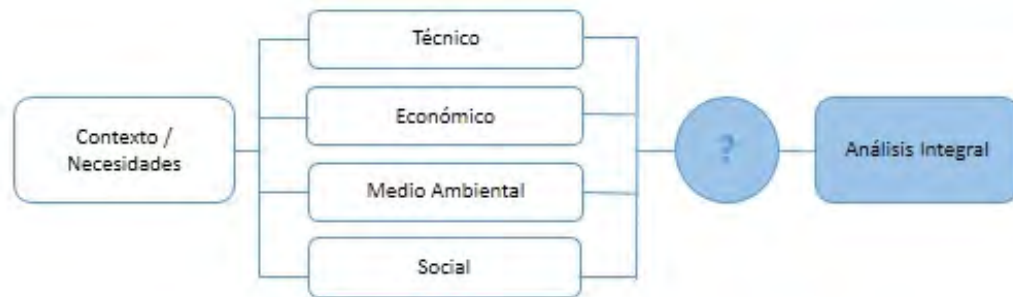


Figura 3.1: Modelo multidimensional

evidenciar que existe una serie de indicadores que permiten analizar la viabilidad de los proyectos en sus distintas áreas y que han sido aplicados a proyectos en diversos sectores de la industria.

En la tabla 3.1 se muestra un resumen de la revisión literaria que hizo parte de las fuentes bibliográficas analizadas, y los indicadores, herramientas o metodologías en cada una de esas evaluaciones que fueron tenidas en cuenta dentro de ellos.

Artículos \ Aspectos	Técnicos			Economicos					Medio Ambientales				Sociales				
	Métodos de Optimización	Self Consumption rate SC	Self Sufficient rate SS	Valor Presente Neto NPV	Tiempo de recuperación de la inversión PRI PBP-PP (Pay Back Period)	Discounted Payback Period DPP Periodo de recuperación descontado	Total Annual Cost Costo Total Anual TAC	IRR-TIR	Life Cycle Cost-LCC Costo del Ciclo de vida -CCV LCC	Levelized cost of electricity LCOE	Capital recovery factor Factor de recuperación del Capital CRF	LCI - Life cycle Inventory Ciclo de vida	Life Cycle Assessment - LCA (Análisis del Ciclo de vida)	Ecoindicador-99	GHG- Greenhouse Gases de Efecto Invernadero GEI	Dívido de Carbono- CO2	Evaluación del Impacto Social (EIS) Social Impact Assessment - SIA
Interactive energetic, environmental and economic analysis of renewable hybrid energy system. Landi, D., Castorani, V., & Germani, M. (2019).		ok	ok	ok							ok						
Energetic, economic and environmental (3E) analyses and LCOE estimation of three technologies of PV grid-connected systems under different climates. Allouhi, A., Saadani, R., Baker, M., Kouskous, T., Jamil, A., & Rahmouni, M. (2020).	SC				ok				ok						ok		
Solar assisted CCHP system, energetic, economic and environmental analysis, case study: Educational office buildings. (2017)	ok									ok					ok		
Energetic, Energetic, Economic and Environmental (4E) analysis of a solar assisted refrigeration system for various operating scenarios. (2017).				ok	ok		ok								ok		
Multi-scale smart management of integrated energy systems. Part 1: Energy, economic, environmental, energy risk (HER) and water-energy nexus analyses. (2019).							ok					ok		ok			
Proposal and assessment of a novel combined heat and power system: Energy, energy, environmental and economic analysis. Ebrahim-Moghadam, A., Moghadam, A. J., Farzaneh-Gord, M., & Alakbari, K. (2020).			ok	ok										ok	ok		
Technological, technical, economic, environmental, social, human health risk, toxicological and policy considerations of biodiesel production and use. (2017).				ok								ok		ok	ok		ok
Environmental and socio-economic assessment of cook waste gasification: Life cycle and cost analysis. (2020).			ok	ok				ok				ok					
Energetic, economic, and environmental (3AE) performances of high concentrated photovoltaic large scale installations: Focus on spatial analysis of Morocco. (2020)			ok	ok					ok						ok		

Tabla 3.1: Matriz de evaluación del estado del arte

A continuación se realiza una descripción de los indicadores que fueron seleccionados para ser aplicados al caso de estudio del presente proyecto.

3.1 Evaluación Técnica

Esta evaluación permite identificar y cuantificar los valores a nivel técnico para determinar la viabilidad y ejecución del desarrollo del proyecto basado en factores como la producción y el consumo energético. Para obtenerlo se tienen en cuenta factores como la cantidad de energía ahorrada con respecto a la producción total para presentar un enfoque para el análisis de los flujos de energía y su impacto en los usuarios.

Para realizar los cálculos se procede a aplicar las fórmulas de relación entre el consumo energético del usuario con respecto a la energía total producida por el sistema (SC-Self Consumption rate) y la fórmula de la relación entre el consumo energético del usuario con respecto a la energía requerida por el usuario (SS-Self Sufficiency rate). Ambas fórmulas se presentan a continuación.

SC-Self Consumption rate

$$SC[\%] = \frac{Esc}{Ep} \times 100 \quad (3.1)$$

Donde:

Esc: Energía producida por el sistema que es consumida por el usuario

Ep: Energía total producida por el sistema

SS-Self Sufficiency rate

$$SS = \frac{Esc}{Ec} \times 100 \quad (3.2)$$

Donde:

Esc: Energía producida por el sistema que es consumida por el usuario

Ec: Energía requerida por el usuario

3.2 Evaluación Económica

En el desarrollo de un proyecto existen diversos factores a tener en cuenta para una exitosa culminación. En esta metodología se analiza la evaluación económica, proceso que permite identificar y valorar los costos relacionados al desarrollo, inversión y rentabilidad del proyecto, permitiendo una correcta

administración de los recursos económicos y maximizando el rendimiento de la inversión y el retorno del dinero a través del tiempo.

Para realizar el correcto análisis se tienen en cuenta diferentes conceptos económicos que mejoran el proceso de administración de los recursos del proyecto.

3.2.1 VPN - Valor Presente Neto

El valor presente neto es una poderosa herramienta de análisis para evaluar la rentabilidad de la inversión en el proyecto, es indispensable para organizar y determinar todos los costos de la inversión aplicada al proyecto calculando el rendimiento de la inversión (ROI) que se espera en su ejecución.

$$VPN = \frac{FE_t}{(l+i)^t} \quad (3.3)$$

Donde:

VPN: Valor Presente Neto del proyecto

FE: Flujo de efectivo en el periodo t

i: Tasa de interés o costo de oportunidad

t: Periodo

3.2.2 PRI - Tiempo de Recuperación de la inversión

El desarrollo del proyecto se encuentra definido en un histograma de tiempo que comprende su ciclo de vida, lo cual hace necesario realizar el análisis respectivo para calcular el tiempo o periodo de retorno de la inversión, y es en este sentido que el PRI es el indicador que permite determinar el periodo de tiempo que se requiere para que se retornen los costos de la inversión realizada en el desarrollo del proyecto.

$$PRI = \frac{InversionInicial}{IngresosPromedios} \quad (3.4)$$

3.2.3 TIR - Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno es el indicador económico que permite analizar la rentabilidad de la inversión en el proyecto, el TIR que permite analizar y proyectar a futuro los rendimientos esperados en el desarrollo del proyecto y mitiga la incertidumbre del riesgo en la inversión.

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} - I = 0 \quad (3.5)$$

Donde:

Q_n: Flujo de caja en el periodo n

n: Número de periodos

I: Valor de la inversión inicial

3.3 Evaluación Medioambiental

Un aspecto muy importante en el desarrollo de los proyectos es el análisis que representa el impacto ecológico en el territorio y su población, que a su vez conlleva al cuidado del medio ambiente con el propósito de generar el menor impacto negativo posible al ecosistema, pero además respetando y acatando las normas medioambientales de la zona de implementación.

La evaluación medioambiental enfatiza el análisis de los impactos ambientales que se producirían en el territorio donde se desarrollaría el proyecto en cuestión y el de los posibles resultados de estas afectaciones durante todo el ciclo de vida del proyecto basados en términos de costos para los usuarios y el impacto ambiental (Ponce, 2011).

Análisis de ciclo de vida

Dados los posibles impactos medioambientales que se derivan del proyecto es fundamental el análisis del ciclo de vida. Esta herramienta permite analizar y evaluar todos los posibles impactos ambientales del proyecto desde su fase de desarrollo hasta el final de su vida útil. La figura 3.2 muestra de manera esquemática el ciclo de vida de un producto (Rodríguez, 2003).

Conforme a las normas internaciones ISO 14040 e 14044 el análisis del ciclo de vida se realiza en 4 fases que se describen a continuación.

- **Definición del objetivo y el alcance**

Fase donde se declara el objetivo y el alcance del estudio. Este estudio contiene toda la información técnica y define los límites e hipótesis del sistema.

- **Inventario del ciclo de vida**

Fase donde se cuantifican todos los productos con los cuales se desarrolla el proyecto. Se recopilan las entradas, los flujos y resultados del proyecto durante todo su ciclo de vida.

- **Evaluación de impacto y ciclo de vida**

Fase donde se evalúan los niveles de impacto basados en elementos importantes como la selección de las categorías de impacto, los indicadores de categoría, los modelos de caracterización, asignación de resultados a las categorías de impacto seleccionadas y la medición del impacto.

- **Interpretación del ciclo de vida**

Fase técnica para identificar, comprobar, cuantificar y evaluar todos los resultados de las fases

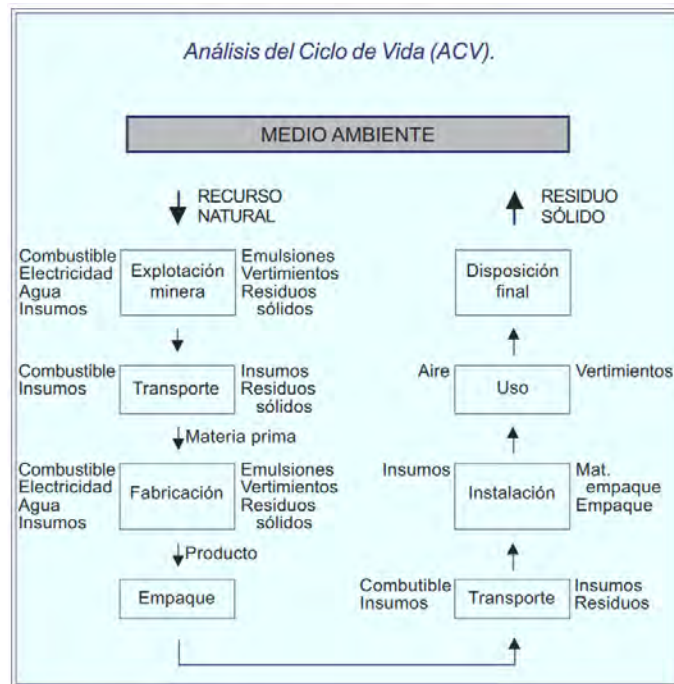


Figura 3.2: Análisis del Ciclo de Vida (Rodríguez, 2003)

antes mencionadas. Incluye el análisis de resultados de las fases anteriores, y además, la evolución que determina la integridad, sensibilidad y coherencia del proyecto, sus limitaciones, así como también, las recomendaciones a seguir para minimizar los impactos y las conclusiones finales.

3.4 Evaluación Social

El desarrollo de todo proyecto genera un impacto a nivel social en la comunidad territorial donde se desarrolla, con la evaluación social se aborda el análisis del impacto social que busca evitar y mitigar los efectos negativos y mejorar los aspectos positivos a largo plazo, incorporando metodologías psicológicas y de desarrollo en derechos humanos para mejorar los estándares de desempeño social.

Evaluación del impacto Social (EIS) - Social Impact Assessment – SIA

Esta metodología del impacto social implica el uso de métodos clásicos de sociología e investigación, tanto cuantitativa (estadística) como cualitativa (observación, entrevistas, caso estudios, etc.). para analizar las fortalezas y debilidades en aspectos sociales y humanos, buscando mejorar los estándares de buenas prácticas para contribuir a la mejora de la calidad de vida y el desarrollo del entorno social. Cada EIS implicará una investigación del contexto: tamaño de la comunidad, el grupo de beneficiarios indirectos, los antecedentes sociales, educativos, económicos y étnicos, valores y necesidades.

Permite identificar y gestionar los diferentes impactos sociales que se van manifestando durante el desarrollo del proyecto y se pueden vincular a los impactos ambientales si se requiere. Permite observar la calidad de vida y los aspectos culturales de la comunidad, esto con el fin de analizar las afectaciones positivas o negativas, recopilar datos y determinar su impacto social directo en el marco de tiempo estipulado e identificar y proporcionar aspectos legales y gubernamentales relacionados al proyecto, para desarrollar una correcta evaluación se deben seguir 10 pasos fundamentales relacionados a continuación:

1. Formulación de un plan o política pública que involucre a todas las partes potenciales.
2. Describir cuál es el plan a desarrollar.
3. Describir el entorno o área específica del plan de desarrollo y sus condiciones.
4. Una vez formulado la comprensión práctica de la propuesta, reconocer los posibles impactos sociales que se van a comunicar a los afectados.
5. Identificar los potenciales impactos sociales.
6. Establecer las consecuencias de los impactos sociales.
7. Identificar impactos futuros e impactos sociales crecientes.
8. Planificar un plan o política pública alternativa y analizar sus resultados.
9. Formular un plan de mitigación.
10. Formular un programa que supervise todos los aspectos del plan.



Figura 3.3: *Evaluación del impacto Social*

Capítulo 4

Caso de Estudio

El propósito de este capítulo es dar aplicación a los modelos o metodologías que han sido seleccionadas previamente en el capítulo anterior dentro del proceso de integración y a partir de su aplicación y evaluación, determinar la viabilidad de la estación de carga bajo las condiciones en las que fue instalada.

4.1 Contexto del proyecto

Actualmente el municipio de Magangué cuenta con opciones de transporte terrestre dentro de las que se encuentran las motocicletas, automóviles particulares y de servicio público, taxis y autobuses. En la parte fluvial, el municipio cuenta con botes de distintos tamaños, capacidades y configuraciones que permiten a los pobladores y visitantes, desplazarse o transportar carga hacia los distintos lugares del entorno cercano del municipio, todos ellos, en su gran mayoría, movidos por combustibles fósiles catalogados como fuentes convencionales de energía como el Aceite Combustible para Motor (ACPM) y la gasolina.

Las imágenes mostradas en las figuras 4.1, 4.2, y 4.3 muestran algunos de los vehículos, botes y motocicletas que son usados como medio de transporte allí en Magangué, además de una fotografía que muestra una imagen panorámica del puerto fluvial sobre el río Magdalena.

4.1.1 Necesidades del contexto

Dentro de la población que a diario usa los sistemas de transporte se encuentran principalmente adultos entre los 25 a los 60 años los cuales tienen unos ingresos aproximados o equivalentes a un Salario Mínimo Legal Mensual Vigente (SMLMV), en ocasiones inferior a este, y que utilizan el medio de transporte fluvial o terrestre en su día a día como parte de su cotidianidad.



Figura 4.1: Transporte - Mototaxismo en Magangué



Figura 4.2: Puerto fluvial en el río Magdalena, Magangué



Figura 4.3: Botes para el transporte fluvial de pasajeros en Magangué

De igual manera estos sistemas de transporte son utilizados por visitantes ocasionales, turistas y personas que llegan para hacer uso de los servicios con los que cuenta el municipio a nivel de servicios

médicos o profesionales de distinta índole.

Algunos de los elementos o hallazgos encontrados a través de una encuesta realizada en puntos claves del municipio se encontraron los siguientes elementos:

- El 77,45% se encuentra en edad de trabajar (Mayores a 12 años).
- El 55,71% representa la Población Económicamente Activa (PEA), de los cuales el 68,7% tienen empleo y el 31,2% están desempleados.
- Del porcentaje de personas que están empleadas, el 73,88% está en condiciones de subempleo (Jornada inferior a la jornada legal o ingresos insuficientes).
- Las ocupaciones más comunes son: moto taxistas, vendedores de minuto, oficios varios y empleados domésticos.
- Entre 2006 y 2014 se movilizaron 5'383.572 de pasajeros por el puerto de Magangué (Meisel-Roca and Aguilera-Díaz, 2015).

De igual manera existen algunos de los aspectos socioculturales del municipio de Magangué, y que hacen parte de las características mismas del contexto, influyendo de manera directa en el proceso de diseño de la estación de carga. Dentro de estos aspectos, uno de los más destacados son cifras de la pobreza las cuales pueden estar relacionadas con los bajos niveles de educación, la deficiente infraestructura de servicios públicos y el mal estado de las viviendas, entre otros aspectos.

De lo anterior se reflejan necesidades las cuales son fundamentales para el desarrollo del diseño de la estación de carga, ya que se deben tener en cuenta para lograr emitir un concepto que abarque gran parte de los principios socio-culturales del municipio.

4.1.2 Caso de estudio Magangué

En el marco del proyecto Energética 2030 y desde el Proyecto 03 - Movilidad Sostenible se pretende que el municipio de Magangué cuente con un sistema de transporte terrestre y fluvial, movido principalmente por combustibles generados a partir de fuentes renovables de energía por lo cual se plantea la instalación de una estación de carga solar que facilite la recarga de estos vehículos eléctricos o en su defecto de las baterías que permitan su propulsión.

Esta estación de carga justamente es el objeto de estudio que se plantea evaluar desde las cuatro dimensiones con el objetivo final de encontrar una calificación cuantitativa pero además encontrar esas variables que luego de ser ajustadas o complementadas, de ser necesario, permitan hacer viable el proyecto, dado el caso que en primera instancia la evaluación arroje como resultado que no es un proyecto viable en todas o en alguna de las dimensiones que se evalúa.

Los renders que se muestran en la figura 4.4, muestran el diseño de la estación de carga y su interacción dentro del contexto para el que fue diseñado en principio, integrando el transporte fluvial, botes eléctricos y botes tradicionales, además de una motocicleta híbrida.



Figura 4.4: Representación gráfica del sistema

4.1.3 Descripción estación de carga

Pese a que la estación de carga fue inicialmente pensada para la ciudad de Magangué, como se dio a conocer en los párrafos anteriores, finalmente se toma la determinación de instalarla en la Universidad EAFIT, sede Medellín, y las imágenes mostradas en las figuras 4.5 y 4.6 son fotografías de la estación de carga en su estado actual.

La estación de carga estará compuesta por un gabinete que hace las veces de interfaz entre el usuario de un tipo de vehículo eléctrico, la fuente de energía y el cargador de baterías en el vehículo. La estación se compone de una acometida, un interruptor principal, una generación de señalización, unos sensores, un contador, una salida y en algunos casos, un sistema de comunicación de datos. Esta estación puede instalarse de dos formas; con el gabinete en el piso o sobre un pedestal.

Las estaciones sobre piso incluyen su base, la estación y en algunos casos unos techos. Las estaciones sobre pedestal solo están diseñadas para ser sujetas a un poste o a una pared.

Para operar una estación usualmente se incluye una pantalla, unos controles o teclado y unos lectores de tarjeta sin contacto. El proceso o procedimiento desde que el usuario llega a operar hasta que el vehículo está cargando varía según el fabricante, pero usualmente incluye un proceso de validación del usuario, un proceso de identificación del vehículo, los parámetros de carga de este y una activación de la carga, y en algunos casos se suma también un proceso de cobro si es necesario.

Se finaliza entonces, con un proceso de terminación de carga, el cual realiza la desconexión del vehículo y la cuantificación final de la energía utilizada para su carga total o parcial.



Figura 4.5: Estación de carga - Vista de primer plano

4.2 Evaluación Técnica

Desde el punto de vista técnico de un proyecto, es importante reconocer la viabilidad de su ejecución, así como las cualidades que tiene como producto final. Es por esto que, el desarrollo de una estación de carga, requiere el entendimiento de los factores involucrados con el diseño, ensamblaje y el consumo energético. Por lo tanto, los indicadores de la dimensión técnica, tienen un peso importante para el proyecto de generación de energía, tomando en cuenta los valores relacionados tales como: el consumo energético que tiene el usuario, la energía total producida por la estación de Carga y la energía requerida por el usuario si la estación de carga funcionara a su máxima capacidad (Viveros et al., 2013).

En función de lo anteriormente descrito, se debe comprender que, el proyecto ha sido adaptado en dos ocasiones a espacios diversos, conforme a las condiciones dadas en cada caso con el fin de cumplir con los requerimientos finales del usuario, planteando un primer escenario tentativo, en el cual se analizaron los procesos para la instalación de la estación de carga, proyectando su instalación en la



Figura 4.6: Estación de carga - Vista panorámica

Diseño actual	Unidades
Cantidad de Paneles	8
Potencia teórica por panel ref.: JA solar JAM72S30 535MR	535 watts
Potencia total del sistema	4,28 kW
Magangué	
Horas pico promedio	4,48 horas/día
Potencia teórica generada por el sistema	19,17 kWh
Eficiencia del sistema considerando los paneles ref.: JA solar JAM72S30 535MR	0,793 factor (adimensional)
Incremento en la eficiencia por tracking solar	17%
Producción de estación de carga	17,79 kWh/día

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas de la estación de carga inicial para el caso de estudio en Magangué

Diseño actual	Unidades
Cantidad de Paneles	8
Potencia teórica por panel ref.: JA solar JAM72S30 535MR	535 watts
Potencia total del sistema	4,28 kW
Medellín	
Horas pico promedio	4,27 horas/día
Potencia teórica generada por el sistema	18,28 kWh
Eficiencia del sistema considerando los paneles ref.: JA solar JAM72S30 535MR	0,793 factor (adimensional)
Incremento en la eficiencia por tracking solar	17%
Producción de estación de carga	16,96 kWh/día

Tabla 4.2: Especificaciones técnicas de la estación de carga inicial para el caso de estudio en Medellín

ciudad de Magangué, Bolívar, con unas especificaciones tal como se aprecian en la tabla 4.1

Sin embargo, la propuesta del presente proyecto, considerando otra ubicación geográfica, fue proyectada para la ciudad de Medellín, Antioquia, donde finalmente se instala la estación de carga con especificaciones particulares las cuales se especifican en la tabla 4.2

Para la estación de carga, del caso de estudio, se establece una demanda máxima proyectada basada en consumos potenciales y a la interacción que se prevé tendrían los posibles usuarios de la misma.

En este sentido se prevé que el tipo de interacción de los potenciales usuarios de la estación de carga sean visitantes, estudiantes, profesores y empleados de la Universidad EAFIT que posean vehículos eléctricos como motocicletas, patinetas o bicicletas y de igual manera personas que hagan uso de dispositivos tales como celulares o computadores portátiles, entre otros artículos eléctricos menores.

Dentro de estas opciones se han seleccionado para el caso de estudio, las motocicletas eléctricas, las bicicletas ecléticas y los celulares, como los elementos o cargas a proyectar y para cada uno de estos se hará una descripción genérica y una aproximación de los consumos energéticos requeridos por estos.

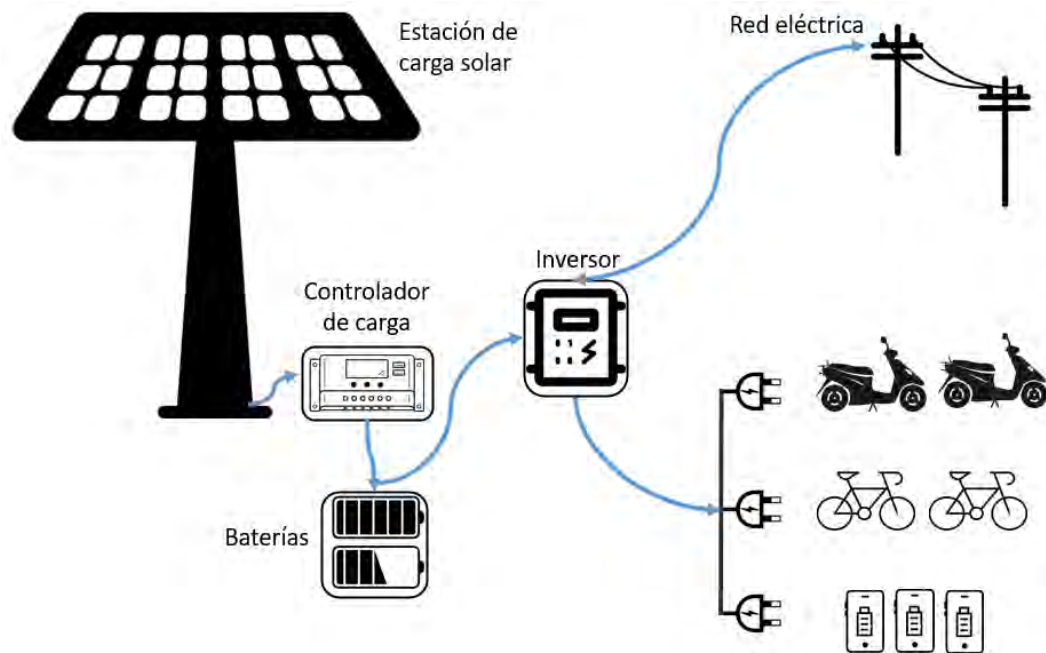


Figura 4.7: Esquema de la estación de carga on-grid

- 2 Motocicletas eléctricas
- 2 Bicicletas eléctricas
- 3 Conexiones a celular

La imagen de la figura 4.7 muestra de manera esquemática la configuración que tiene la estación de carga, su conexión a la red eléctrica, sus componentes principales y los elementos que se proyectan cargar a partir de ella.

- Motocicleta eléctrica: La batería es una pieza clave, pero apenas han evolucionado, hasta la aparición del litio en las motocicletas. Las baterías que usan la mayoría de los fabricantes tienen un voltaje de 12V y una capacidad de 100Ah, por lo que su consumo final es de 1,2kWh, es decir, prácticamente lo que contiene una batería de plomo tradicional (Sanz Arnaiz, 2015).
- Bicicleta eléctrica: Aproximadamente para una bicicleta eléctrica, la media es de 36V y con una capacidad de 10Ah (si se recorre aproximadamente 50km en una sola carga), se tiene un gasto promedio de 260Wh, equivalente a 0,26kWh (CAZAUX and Roura, 2017).
- Celular: En promedio, cargar un celular en el presente, es algo bastante sencillo de realizar. Si esta carga es suministrada por un cargador regular promedio de 200W por 1,5horas, se tiene finalmente un gasto promedio de 45Wh, equivalente a 0,045kWh (De la Cruz Fernández, 2020).

Elemento	Consumo (gasto) por unidad (kWh)	Cantidad	Consumo (gasto) total (kWh)
Motocicleta eléctrica	1,2	2	2,4
Bicicleta eléctrica	0,26	2	0,52
Celular	0,045	3	0,135
		Total	3,055

Tabla 4.3: Elementos de consumo energético conectados a la Estación de Carga del caso de estudio

Por lo tanto, el consumo de energía del usuario tomando en cuenta la conexión de cada elemento propuesto anteriormente, es descrito en la tabla 4.3.

Ahora, partiendo de los datos de la tabla 4.3 se halla la relación de Producción de Energía Proveniente de los Paneles Solares (SFV), tomando en cuenta que la energía total suministrada por el sistema, está representada por una fracción del SFV y otra por la red o sistema “on-grid”.

Para encontrar dicha relación, se toman en cuenta los siguientes datos.

Datos:

Producción estación de carga (SFV): 16,96kWh/día (Ver tabla 4.2)

Energía requerida por elementos conectados: 3,055kWh (Ver tabla 4.3))

Por lo tanto, el número de veces al día que puede suplir energía dicho sistema SFV, viene dado por la ecuación (4.1)

$$Ocasiones\ de\ conexión = \frac{Producción\ estación\ de\ carga\ SFV}{Energía\ requerida\ por\ elementos\ conectados} \quad (4.1)$$

Al sustituir los valores, se obtienen las ocasiones en el día para el SFV, tal como se muestra a continuación.

$$Ocasiones\ de\ conexión = \frac{16,96 \frac{kWh}{día}}{3,055 kWh} = 5,55 \frac{veces}{día} \approx 5 \frac{veces}{día} \quad (4.2)$$

Sabiendo que, existen 24 horas/día y la radiación promedio para Medellín es de aproximadamente 4 horas pico/día tal como se observa en la tabla 4.2 se halla la relación de ambos sistemas repartidos en el día, tal como se muestra a continuación.

$$Factor\ del\ sistema = \frac{24 \frac{horas}{día}}{4 \frac{horas}{día}} \quad (4.3)$$

$$Factor\ del\ sistema = 6 \quad (4.4)$$

Por lo tanto, si el factor del sistema es seis (6) y el SFV puede surtir energía aproximadamente cuatro (5) veces/día, esto corresponde una producción del SFV aproximadamente de una sexta (1/6) parte de lo que el sistema aun conectado a la red (on-grid o conexión la red de distribución), es capaz de entregar al usuario. Consecuentemente, en función de lo analizado, se obtienen los siguientes resultados.

$$\text{Energía Fotovoltaica (1/6 parte total)} = 16,96kW.h/día \quad (4.5)$$

$$\text{Energía on-grid (5/6 parte total)} = 16,96kW.h/día.(5) = 84,8kW.h/día \quad (4.6)$$

De lo anterior, al sumar la energía generada por la estación de carga (SFV) y la obtenida por la conexión directa con la red (on-grid), se obtiene un valor global del sistema dado por el siguiente resultado.

$$\text{Energía total(SFV + on - grid)} = 16,96kW.h/día + 84,8kW.h/día = 101,76kW.h/día \quad (4.7)$$

Una vez planteados los datos técnicos necesarios provenientes de la instalación final para el caso de estudio en Medellín, se procede a describir cada uno de los indicadores pertinentes para la evaluación técnica.

SC – Self Consumption Rate: Tasa de autoconsumo, relacionada con el valor hallado de la relación entre el consumo energético del usuario (E_{sc}) y la energía total producida por el sistema (E_p), con un resultado final, expresado en porcentaje, por lo que se multiplica por 100 y es expresado tal como se aprecia en la ecuación (4.8) (Fraboulet et al., 2015).

$$SC = \frac{E_{sc}}{E_p} \times 100 \quad (4.8)$$

Donde:

Esc: Energía producida por el sistema que es consumida por el usuario

Ep: Energía total producida por el sistema

Considerando los datos anteriormente presentados, es importante la comprensión de la expresión dada por el indicador técnico SC, puesto que la relación entre lo que consume cada elemento y su cantidad, están representados en la tabla 4.3, de acuerdo con las especificaciones establecidas para la Estación de Carga (SFV + on-grid) del presente caso de estudio.

De lo anterior se sabe que, el valor de la energía total de cada fuente, desde el punto de vista de consumo del sistema será:

$$\text{Energía fotovoltaica (1/6 parte total)} = 16,96kWh/día$$

(Energía producida por el SFV)

$$\text{Energía on-grid (5/6 parte total)} = 16,96\text{kWh/día} \cdot (5) = 84,8\text{kWh/día}$$

(Energía proveniente de la red)

$$\text{Energía total del sistema(SFV + on-grid)} = 16,96\text{kWh/día} + 84,8\text{kWh/día} = 101,76\text{kWh/día}$$

Sabiendo que, la energía producida por el sistema (SFV) que es consumida por el usuario (Esc), está relacionada con su producción en el día, dicho valor corresponde a 16,96kWh/día, tal como se aprecia en la tabla 4.3.

Por lo tanto, se tienen los siguientes datos:

$$\mathbf{E_p} = 101,76\text{kWh/día}$$

$$\mathbf{E_{sc}} = 16,96\text{kWh/día}$$

De acuerdo con el el cálculo del SC – Self Consumption Rate, se obtiene el siguiente resultado.

$$SC = \frac{16,96 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}}{101,76 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}} \times 100 = 16,67\% \approx \mathbf{17\%}$$

SS – Self Sufficiency Rate: Tasa de autosuficiencia, relacionada con el valor hallado de la relación entre el consumo energético del usuario (Esc) y la energía requerida por el usuario (Ec), con un resultado final, expresado en porcentaje, por lo que se multiplica por 100 y es expresado tal como se aprecia en la ecuación (4.9) (Sun et al., 2018).

$$SS = \frac{E_{sc}}{E_c} \times 100 \quad (4.9)$$

Donde:

Esc: Energía producida por el sistema que es consumida por el usuario

Ec: Energía requerida por el usuario

Sabiendo que, el consumo total de los elementos conectados, estimados para la Estación de Carga corresponde 3,055kWh, la energía requerida por el usuario (Ec) en un día regular, debe calcularse tal como se aprecia en la ecuación (4.10)

$$E_c = \text{Carga total de elementos} * \text{Factor de producción de energía total} \quad (4.10)$$

Datos:

Carga total de elementos: 3,055kWh

Factor de producción de energía total: 6 veces/día

Por lo tanto, al sustituir los valores en la ecuación (4.10), se obtiene el siguiente valor.

$$E_c = 3,055kWh \times 6 \frac{veces}{día} = 18,33 \frac{kW.h}{día} \quad (4.11)$$

Como ya se conoce E_{sc} del cálculo anterior de SC, se tiene que;

$$E_c = 18,33kWh/día$$

$$E_{sc} = 16,96kWh/día$$

Por lo tanto, al sustituir los valores correspondientes en la ecuación (4.9) se obtiene el siguiente valor de SS.

$$SS = \frac{16,96kWh/día}{18,33kWh/día} \times 100 \approx \mathbf{93\%} \quad (4.12)$$

Tomando en cuenta que, la energía generada del Sistema Fotovoltaico (SFV) es de 16,96 kWh/día (especificación técnica), se tiene un total de energía producida por el sistema (SFV + on-grid) de 101,76kWh/día (si este mantiene los elementos conectados las 24 horas del día). De esto se pudo hallar que, la tasa de Autoconsumo (SC) tiene un valor porcentual aproximado a 17%, lo cual se refiere a la capacidad de consumo que tiene el SFV frente a la producción total de energía en el día, esto quiere decir que, aun cuando el sistema se encuentre desconectado de cualquier elemento, él es capaz de consumir 17% de la capacidad total que el sistema puede suplir.

Por su parte, el valor de Autosuficiencia (SS) hallado de 93%, corresponde a una comparativa entre la generación de energía limpia proveniente del SFV y lo que el usuario requeriría en el día con ambos sistemas (SFV + on-grid), es decir, una diferencia de 7% que es capaz de proveer la estación de carga por medio de los paneles solares.

Esto debe entenderse desde un punto de vista favorable a nivel medioambiental, puesto que el Autoconsumo de la estación (SC), representa la sumatoria del sistema fotovoltaico con la energía de la red (SFV + on-grid), disminuyendo el uso constante de los paneles solares. Esto representa técnicamente que, aún cuando el sistema disminuye en un porcentaje su tasa de Autosuficiencia (SS), comparada con el hecho de estar conectada únicamente a la red, la diferencia es poco considerable, si se toma en cuenta el factor económico hallado por el indicador el Costo Nivelado de Energía (LCOE), por sus siglas en inglés Levelized Cost of Energy, analizado en la dimensión económica, lo cual es fundamental para la viabilidad de las diferentes dimensiones de estudio del presente proyecto.

4.3 Evaluación Económica

Encontrar las cantidades de los recursos económicos necesarios para el desarrollo de un proyecto, determina su viabilidad financiera; por lo cual, es preciso establecer una herramienta que permita

Fijaciones de Pernos		Poste en Acero		Bastidor	
Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor
Fijaciones Orozco	\$ 476.000	Simedt	\$ 23.533.010	Simedt	\$ 16.177.280
Rodamientos		Estructura Base		Estructuras	
Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor
Rodarangos	\$ 971.200	Leguz	\$ 5.991.478	Simedt	\$ 17.950.355
Enchufes		Control Traking		Punto de carga	
Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor
I+D	\$ 741.200	SARA CANO ZULUAGA	\$ 2.519.000	Diseinox	\$ 3.600.000
Bancas Concreto		Electrónica de Potencia		Gabinetes	
Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor
Bieton	\$ 5.300.000	O&P Ingeniería	\$ 34.505.333	Electro Ing. Upegui	\$ 3.570.000
Cimentación		Electrónica de Potencia		Actuador	
Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor
Construcciones RL	\$ 4.046.000	La Red Electrónica	\$ 2.008.891	SAMOT	\$ 3.446.753
Instalación Paneles		Sensor de inclinación		Contador bidireccional	
Empresa	Valor	Empresa	Valor	Empresa	Valor
ingesolar	\$ 3.634.000	SARA CANO ZULUAGA	\$ 1.635.000	E&C Ingenieros	\$ 1.416.466
Acometida Eléctrica					
Empresa	Valor				
Unión Eléctrica S.A.	\$ 38.138.142				
				Total Proyecto Adquirido	\$ 169.660.108

Tabla 4.4: Costos de producción e instalación estación de carga del caso de estudio en Medellín

definir cada uno de los elementos vinculados con el capital requerido, para que este se lleve a cabo. Cada uno de los términos involucrados en este análisis, son conocidos en el ámbito económico como “indicadores financieros”, los cuales expresan las mediciones de flujos de caja, en función de los ingresos y los egresos futuros que tendrá el proyecto, tomando en cuenta la inversión inicial y obteniéndose un resultado final, con el cual se pueda interpretar la utilidad que se genera a través del mismo (Correa García et al., 2010).

La inversión inicial requerida para llevar a cabo el presente proyecto es de aproximadamente 170.000.000 COP. tal como lo muestra la tabla 4.4 cifra que incluye el acondicionamiento del espacio, la adquisición de equipos y partes e infraestructura necesaria, además de la mano de obra requerida para su ensamble y puesta en marcha.

A continuación, se describen cada uno de los indicadores financieros y se realiza el respectivo cálculo asociado con los valores reales del proyecto.

Para el cálculo del VPN, con un valor de inversión inicial de 175.800.000 COP (Inversión inicial + Costo Administrativos y de Conexión eléctrica), se consideraron los siguientes valores presentados en la tabla 4.5

Datos de entrada	Valor	Fuente
Número de años previstos para el análisis del proyecto (Horizonte en años)	10	Dato
Índice de Precios al Consumidor (IPC)	3%	DANE ¹
Tasa interna de rendimiento prevista año	13,74%	Banrep ²
Intereses del préstamo (mes)	3,32%	La República ³
Inversión Inicial (Dato aprox. COP)	\$170.000.000	Tabla 4.4
Costo de Operación y Mantenimiento (1% año del costo (COP/nes))	\$141.667	Cálculo
Valor aproximado del seguro anual (COP/año)	\$1.160.000	Cálculo
Costo Administrativo (COP/año)	\$3.480.000	Cálculo
Costo conexión eléctrica (COP/año)	\$2.320.000	Cálculo
Otros datos asumidos		
Ingresos por Publicidad, proyección de visibilidad de marca (COP/año)	\$33.600.000	Cálculo

Tabla 4.5: Datos financieros para el caso de estudio (Estación de Carga)

1 2 3

Donde cada una de las ecuaciones empleadas para el cálculo de los factores representados en la tabla 4.5 son hallados a partir de las ecuaciones (4.13), (4.14) y (4.15)

¹Variación anual del Índice de Precios al Consumidor (IPC) Total, nacional 2020 - 2021 (junio): https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipc/cp_ipc_jun21.pdf

²Tasas de captación semanales y mensuales: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/tasas-captacion-semanales-y-mensuales>

³Tasa de usura: <https://www.larepublica.co/finanzas/tasa-de-usura-cae-por-sexto-mes-consecutivo-y-para-octubre-que>

$$C_{fi} = I_i - O_i \quad (4.13)$$

$$I_i = R_{ci} + R_{s,i} + \sigma_{d,i} \quad (4.14)$$

$$O_i = C_{ci,i} + C_{O\&M,i} + C_{ass} + C_{ae,0} + C_{\sigma,i} \quad (4.15)$$

Donde:

N: número de años de la inversión

Cf, i: flujos de caja descontados para el i-ésimo año

t: tasa interna de rendimiento

li: entrada de efectivo para el año i

Oi: salida de efectivo para el año i

Rc, i: ingresos por ahorro de consumo de energía para el año

Rs, i: ingresos por venta de energía para el año i

σ_d , i: ingresos por deducción fiscal del año i

Cci, i: capital social del préstamo y costo de intereses para el año i

CO & M, i: costo de operación y mantenimiento para el año i

Cass: costo de aseguramiento i para el año i

Cae, 0: costo administrativo y de conexión eléctrica para el año 0

C σ , i: costo de impuestos para el año i

Valor Presente Neto (VPN): Este indicador mide los flujos de ingresos y egresos futuros que tendrá el proyecto, con el fin de determinar, si después de descontar la inversión inicial, existe alguna utilidad neta. Este procedimiento permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros (ingresos menos egresos) y sirve como parámetro financiero para la evaluación de la rentabilidad de proyectos de energía renovable (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

Este método financiero, además descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado que, para el presente caso de estudio (fuente de energía no convencional), será de 10 años (vida útil), tal como lo especifica la Ley 1715 de 2014 en Colombia.

Se debe tomar en cuenta, que la tasa de descuento a considerar para el cálculo del VPN, puede ser:

- a. De los préstamos (si la inversión se financia con préstamo)
- b. Con retorno de las inversiones alternativas, en el caso de que la inversión se financie con recursos propios (caso de estudio)

- c. Una combinación de las tasas de interés de los préstamos y la tasa de rentabilidad de las inversiones alternativas.

Por lo tanto, se realiza el correspondiente cálculo de VPN del proyecto, como un indicador para la revisión de su viabilidad. Permitiendo establecer cuál proyecto (si se tienen diversas opciones de inversión), es el más rentable, tomando en cuenta la compra de los materiales, operación y mantenimiento, para determinar si el precio que se ha establecido está por encima o por debajo de lo que se puede llegar a percibir de la energía que será suministrada por la Estación de Carga (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

Para el cálculo del VPN, se considera la ecuación (4.16) en la cual se pueden apreciar la relación de los movimientos dispuestos para el transcurso de los diez (10) años propuestos como horizonte (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

$$VPN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+t)^n} - I \quad (4.16)$$

Donde:

VPN: Valor Presente Neto

Qn: Flujo de caja en el período n

n: Número de períodos

I: Valor de la inversión inicial

t: Tasa interna de rendimiento

De este modo, la ecuación (4.16) se interpreta, partiendo de las variables de “Qn” como el flujo de caja estimados neto de cada período, con “n” como el número de períodos considerado (para este caso de diez años, tomando en cuenta que el primer período lleva el número 0, no el 1) y “t” es la tasa de igualación de los valores actuales de los gastos con la suma de valores actuales de los ingresos (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020). Al obtener el resultado del VPN en el horizonte de diez (10) años, este es interpretado de acuerdo a la consideración establecida en la tabla 4.6.

Valor	Significado	Decisión a tomar
VPN>0	La inversión producirá ganancias	El proyecto puede aceptarse
VPN<0	La inversión producirá pérdidas	El proyecto debería rechazarse
VPN=0	La inversión no producirá ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios, tales como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado, beneficios sociales, u otros factores

Tabla 4.6: Rangos de interpretación para valores de Valor Presente Neto del proyecto

Ahora bien, para el cálculo del VPN del presente proyecto, se presenta el respectivo flujo de efectivo para cada año, tal como se evidencia en la tabla 4.7, considerando un valor de inversión inicial aproximado de 175.800.000 COP.

	AÑO 0, 2022	AÑO 1, 2023	AÑO 2, 2024	AÑO 3, 2025	AÑO 4, 2026	AÑO 5, 2027	AÑO 6, 2028	AÑO 7, 2029	AÑO 8, 2030	AÑO 9, 2031	AÑO 10, 2032
Variables de entrada / Año											
VPN (Valor Presente Neto)											
C_0 (Flujos de Caja)	\$ (175.800.000)	\$ 31.309.840	\$ 41.942.535	\$ 37.603.096	\$ 33.737.262	\$ 30.274.531	\$ 27.172.241	\$ 17.253.496	\$ 15.624.319	\$ 14.148.979	\$ 12.812.949
t (año) (Tasa interna de rendimiento)	0%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%
$C_{r,t} = I_t - O_t$	\$ (175.800.000)	\$ 35.611.812	\$ 54.260.166	\$ 55.330.331	\$ 56.462.841	\$ 57.629.326	\$ 58.830.806	\$ 59.033.320	\$ 59.280.419	\$ 59.575.870	\$ 59.919.797
I_t (Ingresos de Dinero)	\$ -	\$ 38.471.812	\$ 57.205.966	\$ 58.364.505	\$ 59.588.040	\$ 60.846.282	\$ 62.146.330	\$ 63.488.330	\$ 64.872.980	\$ 66.302.439	\$ 67.782.919
O_t (Salidas de Dinero)	\$ 175.800.000	\$ 2.860.000	\$ 2.945.800	\$ 3.034.174	\$ 3.125.199	\$ 3.218.955	\$ 3.315.524	\$ 3.414.990	\$ 3.517.439	\$ 3.622.962	\$ 3.731.651
$I_t = R_{c,t} + R_{s,t} + a_{d,t}$	\$ -	\$ 38.471.812	\$ 57.205.966	\$ 58.364.505	\$ 59.588.040	\$ 60.846.282	\$ 62.146.330	\$ 63.488.330	\$ 64.872.980	\$ 66.302.439	\$ 67.782.919
$O_t = C_{c,t} + C_{c,adm,t} + C_{c,op} + C_{c,er,0} + C_{c,er,t}$	\$ 5.800.000	\$ 2.860.000	\$ 2.945.800	\$ 3.034.174	\$ 3.125.199	\$ 3.218.955	\$ 3.315.524	\$ 3.414.990	\$ 3.517.439	\$ 3.622.962	\$ 3.731.651
$C_{c,d,i}$ (Préstamo + Intereses)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
CO & M_t (Costos de Operación y Mantenimiento)	\$ -	\$ 1.700.000	\$ 1.751.000	\$ 1.803.590	\$ 1.857.636	\$ 1.913.365	\$ 1.970.766	\$ 2.029.889	\$ 2.090.786	\$ 2.153.509	\$ 2.218.114
Ca_s (Costos de Aseguramiento)	\$ -	\$ 1.160.000	\$ 1.194.800	\$ 1.230.644	\$ 1.267.563	\$ 1.305.590	\$ 1.344.728	\$ 1.385.101	\$ 1.426.654	\$ 1.469.453	\$ 1.513.537
Ca_e (Costos Administrativos y de conexión a la red)	\$ 5.800.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ca_i (Costo de Impuestos)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

Tabla 4.7: Cálculo de VPN para caso de estudio en horizonte de diez años

De la tabla 4.7, referente al cálculo del VPN del presente proyecto, se puede observar que, en el año seis (6), el valor de este indicador comienza a cambiar de signo negativo a positivo, lo cual muestra que, a partir de este período, se presenta utilidad bruta y por ende el inicio de la recuperación de la inversión, tomando en cuenta cada uno de los factores anteriormente descritos en las ecuaciones (4.13), (4.14) y (4.15).

Esto quiere decir que, partiendo de la premisa establecida en el presente análisis financiero y considerando la interpretación dada por la tabla 4.7, el proyecto es viable desde lo financiero, tomando en cuenta el horizonte de diez años y la inversión inicial realizada.

Tasa Interna de Retorno o TIR: Este indicador, está representado como una herramienta de toma de decisiones para inversiones de proyectos, empleada para comparar la factibilidad del caso de estudio. Por lo general, se considera que la opción de inversión recomendable, es aquella en la que se toma la influencia de la TIR más alta (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

La tasa de descuento de un proyecto de inversión, permite que se considere el $VPN=0$, por lo que este indicador de la TIR, representa la máxima tasa de descuento que puede tener un proyecto para que sea rentable, ya que a una mayor tasa de descuento se generará un VPN menor a la inversión, es decir, $VPN<0$ (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

Para el presente caso de estudio, la expresión para el cálculo de TIR, se ha estimado de la siguiente manera, tal como se expresa en la ecuación (4.17)

$$VPN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n} - I = 0 \quad (4.17)$$

Donde:

VPN: Valor Presente Neto

Qn: Flujo de caja en el período n

n: Número de períodos

I: Valor de la inversión inicial

TIR: Tasa Interna de Retorno

Es importante recordar los criterios de decisión para el valor que se halla de la TIR y su posible viabilidad, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- Si la TIR es mayor que la tasa mínima de rendimiento – Viable
- Si la TIR es igual a la tasa mínima de rendimiento – Indiferente
- Si la TIR es menor que la tasa mínima de rendimiento – No Viable

		Valores en Pesos	
Costo Inicial de la Inversión		- 175.800.000	TIR
Año 0 - Año de instalación y puesta		-	
Ahorros del año	-		
Publicidad, Venta de	-		
Deducciones / Incentivos económicos	-		
Ingresos año 1		38.471.812	-53,22%
Ahorros del año	4.871.812		
Publicidad, Venta de	33.600.000		
Deducciones / Incentivos económicos	-		
Ingresos año 2		57.205.966	-20,68%
Ahorros del año	5.017.966		
Publicidad, Venta de	34.608.000		
Deducciones / Incentivos económicos	17.580.000		
Ingresos año 3		58.364.505	-4,12%
Ahorros del año	5.168.505		
Publicidad, Venta de	35.616.000		
Deducciones / Incentivos económicos	17.580.000		
Ingresos año 4		59.588.040	5,53%
Ahorros del año	5.323.560		
Publicidad, Venta de	36.684.480		
Deducciones / Incentivos económicos	17.580.000		
Ingresos año 5		60.848.282	11,57%
Ahorros del año	5.483.267		
Publicidad, Venta de	37.785.014		
Deducciones / Incentivos económicos	17.580.000		
Ingresos año 6		62.146.330	15,54%
Ahorros del año	5.647.765		
Publicidad, Venta de	38.918.565		
Deducciones / Incentivos económicos	17.580.000		
Ingresos año 7		45.903.320	17,56%
Ahorros del año	5.817.198		
Publicidad, Venta de	40.086.122		
Deducciones / Incentivos económicos	-		
Ingresos año 8		47.280.419	19,07%
Ahorros del año	5.991.714		
Publicidad, Venta de	41.288.705		
Deducciones / Incentivos económicos	-		
Ingresos año 9		48.698.832	20,21%
Ahorros del año	6.171.465		
Publicidad, Venta de	42.527.367		
Deducciones / Incentivos económicos	-		
Ingresos año 10		50.159.797	21,08%
Ahorros del año	6.356.609		
Publicidad, Venta de	43.803.188		
Deducciones / Incentivos económicos	-		

Tabla 4.8: Cálculo de la TIR para caso de estudio en horizonte de diez años

De manera consecuente, se despeja la TIR de la ecuación (4.17) y se considera para el caso de estudio, la sumatoria en los diez (10) años propuestos como horizonte, encontrando valores que se aproximan en la tabla 4.8.

Período de recuperación de Inversión (PRI)	3,55 42	Años Meses
---	------------	-----------------------

Tabla 4.9: Valor del PRI para el caso de estudio

Del resultado hallado en la tabla 4.8, se procede a calcular el flujo neto de los ingresos y egresos en el horizonte establecido para los diez (10) años. Desde este punto, se aplica la ecuación (4.17), de lo cual se obtiene un rendimiento de la TIR igual a 21.08%, concluyendo que el proyecto genera ganancias, es decir, tal como se especifica en el criterio de la TIR, sería viable su implementación. Sin embargo, es importante poder evaluar otros factores e indicadores de valor para el caso de estudio, con lo cual complementar de manera exitosa el presente análisis económico por lo que se hace necesaria la aplicación del resto de indicadores mencionados anteriormente, con el fin de obtener una postura más contundente frente a la implementación de la Estación de Carga y que a continuación son desarrollados y aplicados al correspondiente caso de estudio (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

Período de Recuperación de la Inversión o PRI: Este indicador representa el tiempo de recuperación de la inversión inicial, el cual permite determinar el tiempo estimado de retorno de la inversión (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujo de caja neto promedio durante el horizonte proyectado}} \quad (4.18)$$

Para aplicar la ecuación (4.18) teniendo en cuenta los datos de la tabla 4.7 donde se muestran los valores en horizonte de los diez (10) años, se tendría un flujo de caja promedio anual de 49.588.061 COP, y una inversión inicial de 175.800.000 COP (especificados al inicio del análisis económico), se obtiene el siguiente resultado mostrado en la tabla 4.9.

$$PRI = \frac{\$175.800.000}{\$49.588.061} \approx 3,55 \text{ años} \approx 42 \text{ meses} \quad (4.19)$$

De acuerdo con estos cálculos se puede apreciar, que el periodo de recuperación de la inversión sigue la misma idea de tiempo (seis años de recuperación), sin embargo, se entiende que, por medio del cálculo del PRI tal como se mostró anteriormente, se omiten algunas consideraciones relevantes, como lo es la devaluación del dinero, correspondiendo así este valor, a una estimación equivalente y uniforme en el tiempo, es decir donde todos los pagos son del mismo monto a pesar de ser en periodos o años distintos.

Por la razón anteriormente expuesta, utilizar un cuarto indicador, podrá aportar una consideración final correspondiente con el presente análisis económico. Es por esto que, se emplea el Factor de Recuperación de Capital (FRC), tal como se muestra a continuación.

Factor de Recuperación de Capital o FRC (Capital Recovery Factor o CFR por sus siglas en inglés): Este indicador, es interpretado como la cantidad de pagos iguales (uniformes), que son recibidos durante una cantidad “n” de años, de modo que el valor presente total de todos estos pagos iguales sea equivalente al pago de un dólar en el presente, si la tasa de interés es i . Por lo tanto, se tiene que la expresión para el cálculo de este indicador, así como el valor de la anualidad, viene dado por las ecuaciones (4.20), (4.21) y (4.22) (Morales Sánchez and Ramírez Contreras, 2020).

$$A = P \cdot FRC \quad (4.20)$$

Donde:

A: Anualidad (monto a pagar o número de anualidades recibidas)

P: Capital invertido al inicio del proyecto, incluyendo instalación

FRC: Factor de Recuperación del Capital

$$FRC = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (4.21)$$

Donde:

n: Cantidad de años (horizonte de proyecto)

i: Tasa de interés

$$A = \frac{P \cdot i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (4.22)$$

Partiendo de estas tres ecuaciones se realiza el correspondiente cálculo para este indicador FRC, tal como se aprecia en la tabla 4.10, tomando en cuenta la tasa de interés $i=13,74\%$ mostrado en la tabla 4.5.

Variables de entrada	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
CRF	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
P	175.800.000	175.800.000	175.800.000	175.800.000	175.800.000	175.800.000	175.800.000
i	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%	13,74%
n	10	10	10	10	10	10	10
A	\$ 27.473.806	\$ 27.473.806	\$ 27.473.806	\$ 27.473.806	\$ 27.473.806	\$ 27.473.806	\$ 27.473.806
							\$ 192.316.642

Tabla 4.10: Cálculo del FRC en horizonte de 10 años para caso de estudio de Estación de Carga Fotovoltaica

Tal como se aprecia en el cálculo del FRC para el presente caso de estudio, mostrado en la tabla 4.10, se puede apreciar que la recuperación del capital invertido, luego del arranque del proyecto, se lograría aproximadamente en el año 6 años. Es importante destacar que, dicho valor no varía si la inversión inicial es mayor o menor que la estimada de los 175.800.000 COP, dado que la ecuación (4.21) implementada para el cálculo de este indicador considera pagos que son uniformes y equivalentes, por lo que a medida que este valor es modificado (inversión inicial), los pagos serán ajustados para que el tiempo de recuperación sea el mismo.

Ahora bien, se debe mencionar que, cada uno de los indicadores calculados en el presente análisis financiero, tienen consideraciones diversas e incluso no congruentes unas con otras, por lo que su comparación directa, tomando en cuenta factores como tiempo de recuperación, ganancia neta, entre otros, es un elemento que debe ser analizado desde lo que el proyecto amerita; por lo que se debe fijar el tiempo y la cantidad de dinero de mayor valor, los cuales permitan asegurar que, la inversión tendrá éxito en el horizonte previsto para el proyecto, sin contratiempos económicos.

Costo Nivelado de la energía (Levelized Cost Of Energy o LCOE por sus siglas en inglés): Este indicador, permite realizar una comparación entre los costos unitarios que conlleva el uso de diversas tecnologías para la producción de energía, considerando la vida útil que tiene dicho proyecto (García et al., 2013).

Como herramienta financiera, relacionada con la producción de energía, se considera la cantidad de electricidad neta que es dispuesta por la red, generando un Valor Presente (VP) del costo de generación de energía por unidad de electricidad producida en kWh, tomando en cuenta la razón entre el total de gastos considerados durante la vida útil del proyecto y la cantidad de energía que se espera generar (Torres and Cruz, 2020).

Para poder realizar la correcta comparación de las diferentes fuentes de energía, se deben tomar en cuenta las mismas consideraciones, esto quiere decir, evaluar cada una de estas en un mismo escenario, bajo la influencia de las mismas premisas. Para ello, se toman en cuenta, diferentes simplificaciones, con el objeto de reducir el número de cálculos, y poder hallar valores acordes y comparables de acuerdo con el orden del resultado que es hallado.

La ecuación (4.23) del LCOE, es hallada a partir del valor actual neto de la inversión, tomando en cuenta el flujo de caja de la central, en este caso la Estación de Carga (LCOE de la energía generada

más los costos de operación y mantenimiento del proyecto). Es importante mencionar que, a un valor más elevado de LCOE, indica que las condiciones del proyecto son menos favorables desde un punto de vista costo-beneficio energético (Correa García et al., 2010).

$$LCOE = \frac{Inv + \sum_{t=1}^n \frac{M_t}{(1+TIR)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+TIR)^t}} \times \frac{USD}{MWh} \quad (4.23)$$

Donde:

Inv: Inversión inicial

Mt: Gastos de operación y mantenimiento previsto para los años de vida útil

TIR: Tasa Interna de Retorno o tasa de descuento

Et: Energía generada durante los años de vida útil

n: Vida útil de la planta o estación (20-25 años)

Existen diversas formas de interpretar el indicador LCOE, es por esto, que se hace necesario establecer aquellos escenarios posibles, tal como se describe a continuación.

- **Escenario de auto-consumo:** para este caso, debe tomarse en consideración el costo al que el usuario produce la energía, es decir, evidencia los ahorros por reemplazo, comparando los costos de producción, frente al costo al que se está comprando la energía, en caso de que el proyecto no se llevase a cabo.
- **Escenario de venta de energía:** para este caso, debe tomarse en cuenta que, se trata de un proyecto en el cual se vende energía a la red, es decir, que lo obtenido se asienta en el costo unitario, igualado al costo de oportunidad, es decir, costos de venta mayores al LCOE obtenido representado por un VPN>0 (rentabilidad positiva para el desarrollo del proyecto).

El LCOE, tal como se ha especificado, está expresado como el costo total de todo el sistema de instalación (costos fijos y variables), dividido por la energía suministrada por la estación de carga, por lo que dicho indicador vendría expresado de forma resumida por las ecuaciones (4.24) y (4.25)

$$LCOE = \frac{\text{Costo total del proyecto (vida útil del ciclo de vida)}}{\text{Energía eléctrica total generada (vida útil o ciclo de vida)}} \quad (4.24)$$

$$LCOE = \frac{\text{LC Costos fijos} + \text{LC Costos Variables (Operación y Mantenimiento) (vida útil)}}{\text{kWh nivelado al año (vida útil)}} \quad (4.25)$$

De las ecuaciones (4.24) y (4.25) es importante reconocer que, la energía eléctrica total generada del presente caso de estudio, estará comprendida por aquella que el sistema es capaz de suplir, es decir, la energía proveniente de la fuente renovable (fotovoltaica) y de la red (on-grid).

Dado que, el proyecto se asienta en un escenario de generación de energía para el autoconsumo, pese a que existe un cobro de la inversión a futuro, se debe tomar en cuenta que, el mismo, tal como se especificó anteriormente, tiene un VPN > 0 que representa la oportunidad de rentabilidad, considerada para el análisis de este indicador. En este sentido, se sabe que, en un horizonte de veinte (20) años, se tienen estimados los siguientes valores provenientes del flujo de caja para el proyecto.

Escenario para caso de estudio (Estación de Carga):

- Costo inicial del proyecto (COP): 175.800.000 (Año cero, año de instalación)
- Costos de operación y mantenimiento (COP): 183.651.346 (Valor presente en año 0, cálculo Excel)
- Costos fijos + Costos variables (COP): 359.451.346 (Valor presente en año 0, cálculo Excel)

Para poder hallar la energía producida en kWh año (nivelado), necesario para el cálculo del LCOE de la ecuación (4.25), se realiza el siguiente cálculo.

$$kWh \text{ año (nivelado)} = \text{Energía total producida por el sistema} \frac{kWh}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \quad (4.26)$$

$$kWh \text{ 20 años (nivelado)} = 16,96 \frac{kWh}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 20 \text{ años} = 123.781 \frac{kWh}{20 \text{ años}} \quad (4.27)$$

- kWh 20 años (nivelado): 123.781 (SFV)

Por lo tanto, al sustituir los valores de Costos y Energía en la expresión del LCOE de la ecuación (4.25), se obtiene el siguiente resultado.

$$LCOE (\text{Caso de estudio}) = \frac{359.451.346 \text{ COP}}{123.781 \text{ kWh}} = 2.904 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}} = 0,72 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \approx 722 \frac{\text{USD}}{\text{MWh}} \quad (4.28)$$

Ahora, para poder realizar la correspondiente comparación de LCOE del caso de estudio, con el de otras propuestas de generación de energía (renovables o no renovables), se representan las cantidades correspondientes a cada tecnología, tal como se aprecia a continuación en la tabla 4.11 (Spiegeler and Cifuentes, 2014).

Finalmente, al hacer el correspondiente análisis comparativo entre las diversas fuentes de energía, considerando capacidades similares al del caso de estudio (16,96 kWh/día), se puede apreciar que,

Tecnología	Capacidad	LCOE (USD/MWh)	LCOE Caso estudio (USD/MWh)	Valor comparativo	% Ahorro / Incremento	
Diésel	30,8 kW	435	722	-	287	-66%
Sistema stand alone bi-fuel	30,8 kW	269	722	-	453	-168%
Bi-fuel SFV 20%	6,21 kW	279	722	-	443	-159%
Bi-fuel SFV 40%	12,5 kW	280	722	-	442	-158%
Bi-fuel SFV 60%	18,5 kW	275	722	-	447	-162%

Tabla 4.11: Comparativo de LCOE caso de estudio con proyectos de generación de energía

el valor porcentual de esta relación, varía de acuerdo con la capacidad que tiene cada proyecto y la tecnología implementada (Duarte Cáceres, 2019).

En la tabla 4.11 se observa que, la secuencia del indicador LCOE varía de forma gradual y consistente a la fuente y el porcentaje que esta aporta en el sistema global. En tal sentido, mientras el aporte de la energía renovable sea mayor, no necesariamente disminuye el valor del indicador, dado que internamente los cambios generados en los costos afectarán directamente el resultado (Duarte Cáceres, 2019).

Sin embargo, se puede destacar que el porcentaje relativo del indicador LCOE del presente caso de estudio, frente a la generación de 30,8 kW, con una fuente no renovable como el Diésel, es aproximadamente un 66% más costosa, tomando en cuenta las condiciones de generación de energía y los costos anuales durante su vida útil, lo que representa un factor desfavorable para la Estación de Carga del caso de estudio.

Por su parte, el comparativo de LCOE para la energía generada desde el presente caso de estudio, respecto al bi-fuel (sólo bio-combustible) arroja un porcentaje aproximado del 168% más costoso.

Con respecto al resto de las tecnologías comparadas en la tabla 4.11, se aprecia que la producción del MWh calculado para el caso de estudio es superior a la de las tres variaciones de bio-combustible (20, 40 y 60%) y el sobre costo varía entre un 158% y un 162%.

De acuerdo con lo anterior, la evaluación del caso de estudio representa costos superiores al compararse con tecnologías similares.

Sin embargo, es importante resaltar que, este desarrollo tiene elementos adicionales y valores agregados como lo son la parte medioambiental y el aspecto social que se analizan más adelante en el presente trabajo.

4.4 Evaluación Medioambiental

Para el estudio medioambiental de la evaluación de proyecto, es importante considerar cada uno de los factores que influyen en el proceso de fabricación, tomando en cuenta las materias primas y la disposición final de los materiales una vez cumplida la vida útil de cada uno. Para ello, se hace necesario realizar el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del producto, como se aprecia en la figura 4.8, de tal manera que se pueda establecer correctamente el inventario de materiales en cada etapa, el cual servirá de base para la aplicación de diversas metodologías relacionadas con la carga medioambiental que conlleva el desarrollo de la Estación de Carga propuesta (Pinto, 2017).

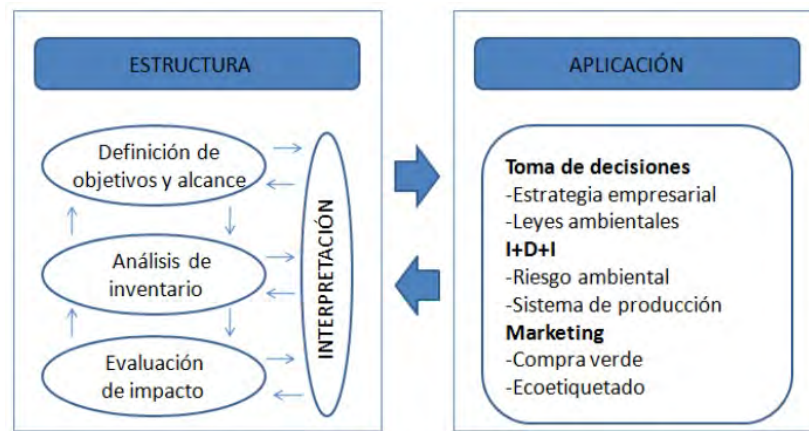


Figura 4.8: Etapas de un análisis de ciclo de vida y aplicaciones

Para el presente proyecto, se estableció un ACV, tal como se observa en la figura 4.9, con entradas y salidas representadas de acuerdo con el inventario inicial propuesto, aplicando un orden jerárquico, con el fin de evaluar sistemáticamente las distintas cargas ambientales, por medio de la aplicación de una serie de pasos que serán descritos posteriormente y el análisis final de estos.

Partiendo del diagrama de bloque en cascada representado en la figura 4.9, se procede a establecer el Análisis del Impacto Ciclo de Vida (AICV) y el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) o LCIA - Life Cycle Inventory Analysis, por sus siglas en inglés, con las metodologías que surgen del enfoque para el ACV que serán descritas más adelante. De ello, se proponen dos metodologías para el presente estudio: una de impacto final (end-point) para el ACV y orientada al daño y otra de eslabón causa-efecto (mid-point) para el ACV, que tienen mayor relación con las normas ISO 14040 (Goal and scope), ISO 14041 (LCIA - Life Cycle Inventory Analysis), la más relevante del caso ISO 14042 (LCIA Life Cycle Impact Assessment por sus siglas en inglés) y la ISO 14043 (Life Cycle Interpretation por sus siglas en inglés) (Pinto, 2017).

Las metodologías escogidas para el presente caso de estudio, tienen una estructura determinada por la normativa ISO 14042, a través de las cuales se distinguen cada uno de los elementos obligatorios y

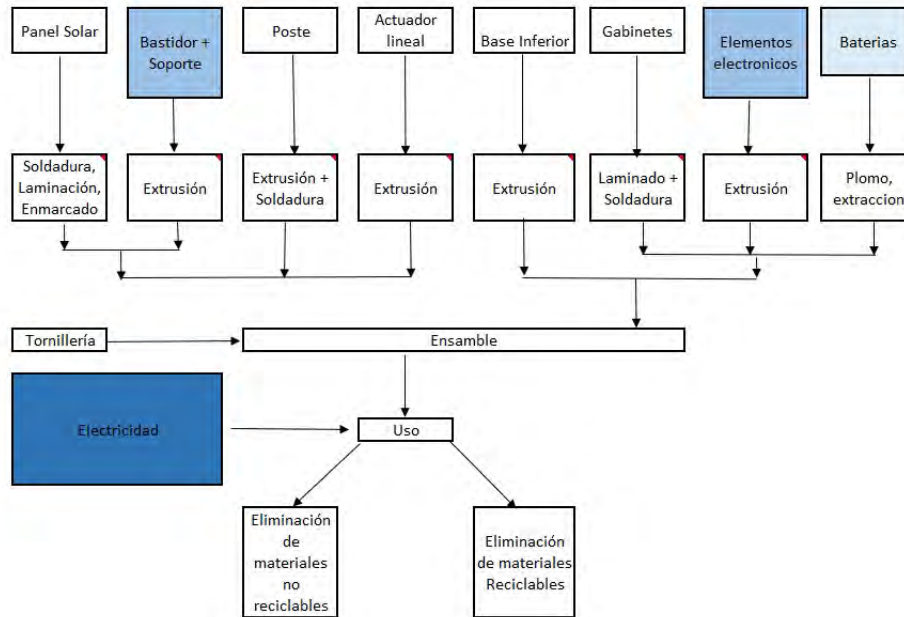


Figura 4.9: Análisis de ciclo de vida de caso de estudio, bloques

opcionales de cada caso. Para ello, al sumar cada una de las intervenciones ambientales del proyecto, para las diversas categorías de cada indicador, se podrá caracterizar el tipo de impacto, con el fin de obtener un resultado normalizado, que podrá ser contrastado finalmente. Las dos metodologías propuestas, están puestas a modo de comparación, de acuerdo a cada una de las categorías de impacto en el estudio medioambiental.

Dicho proceso de normalización de los resultados aplicado a cada metodología, corresponde a la relación de la magnitud cuantificada para cada categoría de impacto, respecto a un valor de referencia, tomando en cuenta una escala geográfica y temporal, tal como se aprecia en las tablas 4.13 y 4.16 (Lynch Navarro, 2015).

En este sentido, es importante resaltar que, la viabilidad de la aplicación de los factores de cada metodología de caracterización, dependerá de la validez y de las características que tenga el proyecto de estudio. Por esta razón, las metodologías escogidas para el análisis de la Estación de Carga del presente proyecto son: **Eco-indicador 99** y **CML 2000 Baseline**.

Eco-indicador 99 está relacionado con los métodos que evalúan el impacto final medioambiental del proyecto en función del ACV y que ha sido implementado con éxito en procesos de generación de energía, como es el caso del estudio de (Martínez Maturana, 2018), titulado “Análisis de ciclo de vida de la generación de energía eléctrica con carbón y paneles fotovoltaicos”. El Eco-indicador 99, sirve para evaluar el impacto final de cada variable en la sociedad, por lo que su elección es relevante a escala global de proyectos de generación de energía (Goedkoop et al., 1999).

Por su parte, el **CML 2000 Baseline**, es una metodología para el ACV, que está relacionada

Ecoindicador 99	CML 2 Baseline 2000
Enfoque holístico, comprende todas las etapas del ciclo y trata de incluir totalidad de elementos que conforman el sistema del producto	Elaborador por el Centro para Estudios Medioambientales (CML), Universidad de Leiden, Holanda
Facilita la comprensión del funcionamiento del sistema del producto, identificando sus elementos y estableciendo relaciones	Los indicadores baseline (estándar) están basados en el principio de la mejor práctica disponible
Esquema de árbol de proceso para visualizar oportunidades de mejora	Indicadores de categoría a nivel de resultado (orientada al problema)
Indicadores que expresan el impacto ambiental total de un proceso o producto. Enfocado en End-point o al daño.	Enfoque a punto intermedio (Mind-point) o de Causa-Efecto, considerando el problema ambiental.
Aplicación para proyectos de electricidad, electrónica y generación de energía	Aplicación para proyectos de electricidad, electrónica y generación de energía
Consiste en número que indica el impacto ambiental del proceso	Metodología integral con enfoque orientado al problema ambiental y al daño
Cuanto mayor es el indicador, mayor es el impacto ambiental	Utiliza categorías obligatorias de impacto.
Aplicada al Ecodiseño, representado en un resultado final de valor numérico	Método de actualización del CML 92 (Guía de Evaluación de Ciclo de Vida creada por el Instituto de Ciencias Ambientales de Holanda en 1992).
Categorías de:	Categorías de:
<ul style="list-style-type: none"> • Daño a la salud humana (Valores expresados en unidades DALY/Disability Adjusted Life Years). Su modelo se relaciona con efectos en el sistema respiratorio y a los efectos cancerígenos, causados en la salud por el cambio climático, la depleción o agotamiento de la capa de ozono o radiación iónica. • Daño a la Calidad del Ecosistema (Valores expresados en PDF (Potentiality Dissappeared Fraction/Fracción de Área Potencialmente Desaparecida) por metro cuadrado por año). Se valora el porcentaje de especies que van desapareciendo en un área determinada, por la acción de la carga ambiental que se ha generado en un tiempo específico. • Daño a los Recursos Naturales (Valores en unidades de energía almacenada en inglés definida por MJ surplus). 	<ul style="list-style-type: none"> • Depleción abiótica. Se mide para cada extracción de minerales y combustibles fósiles en Sb kg eq (kg equivalentes de antimonio/kg de extracción) • Acidificación • Eutroficación • Calentamiento Global. Valores expresados en unidades de CO₂ eq/kg de emisiones. • Depleción (Erosión) de la capa de ozono (ODP). Unidades expresadas en CFC-11 (Clorofluorocarbonos tipo 11) kg eq/kg de emisiones. • Toxicidad humana o Potencial de Toxicidad Humana (HTP). Expresado para cada sustancia tóxica en HTPs en kg 1,4-DB (1,4-diclorobenceno) eq/ kg de emisiones. • Ecotoxicidad acuática en agua dulce. Expresado para cada sustancia tóxica en HTPs en kg 1,4-DB (1,4-diclorobenceno) eq/ kg de emisiones. • Ecotoxicidad acuática marina. Expresado para cada sustancia tóxica en HTPs en kg 1,4-DB (1,4-diclorobenceno) eq/ kg de emisiones. • Ecotoxicidad terrestre • Oxidación fotoquímica
Inconsistencias en la consideración de sustancias dañinas	Suficiente consenso científico en su elaboración
Puede ser trabajada de manera individualista, igualitaria y/o jerárquica	Cercana a la intervención ambiental, se clasifica en categorías

Tabla 4.12: Comparativo entre metodologías para el cálculo de impacto ambiental basado en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

con el impacto ambiental intermedio, siendo esta en la actualidad, la que mayor información detallada arroja sobre cada categoría de estudio, en cuanto a la forma y ubicación del impacto al medio ambiente, con consideraciones químicas en los diferentes ecosistemas, tomando en cuenta su correcta elaboración y consenso científico adquirido durante años, en específico para proyectos de generación de energía, en casos como el estudio de (Lynch Navarro, 2015) titulado “Uso de la metodología de evaluación ambiental de ciclo de Vida en productos con aplicación a baterías de ion litio para teléfonos móviles”.

A continuación, en la tabla 4.12, se presentan los aspectos más importantes de cada una de las metodologías escogidas para este estudio, con el fin de comparar su uso frente a proyectos de generación de energía.

Ecoindicador 99: Esta metodología está basada en el proceso de diseño de un producto o servicio, a través del cual se genera una gama de opciones para elegir el camino sostenible más conveniente. Si se desea desarrollar un proyecto amigable con el medio ambiente, es importante que los valores estándar de la metodología de desarrollo estén precisados respecto a sus: materiales, procesos de producción, transporte, generación de energía y escenario de eliminación o disposición final de residuos (Lynch Navarro, 2015).

Los valores estándar de los Eco-indicadores están considerados como cifras adimensionales. Para este caso de estudio, se utiliza como unidad los mili-puntos (mPt), interpretando que 700 mPt son equivalentes a 0.7 Pt (puntos) cuyo objetivo principal es el de comparar las diferencias relativas entre productos o componentes.

La escala se ha elegido de tal forma que el valor de 1 Pt represente 1 centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano europeo promedio (Mark Goedkoop, 2000).

Es importante señalar, las inexactitudes que presenta esta metodología, ya que es difícil generalizar, la dependencia de los errores con la comprensión del modelo. Es decir, no existe un rango dispuesto que señale del resultado obtenido, que la cantidad de milipuntos se encuentra acorde con el criterio. De esto se desprende la posibilidad de proponer diferentes escenarios, derivados de una primera propuesta, tomando en cuenta el cambio de alguno de los procesos más importantes, materias primas, procesos de operación, entre otros (Mark Goedkoop, 2000).

Para intervenir el resultado hallado por medio del Ecoindicador 99, se deben comparar las consideraciones de los procesos dominantes, esto quiere decir que, si la diferencia entre dos escenarios completamente distintos oscila entre el 10 y 50%, se puede llegar a la conclusión de que su impacto ambiental es similar. Sin embargo, cuando dicha diferencia supera el 90%, se puede concluir de manera fiable de acuerdo con su viabilidad medioambiental frente al de mayor valor, tomando en cuenta que, un mayor valor en milipuntos equivale a un mayor impacto (Mark Goedkoop, 2000).

El inventario dispuesto para el proyecto, puede presentar la omisión de algunos materiales debido a la falta de información o por la constancia de aportación escasa de dicha parte, sin embargo, es preferible considerar una estimación para este, de modo que el resultado se encuentre más cercano al escenario real de su desarrollo (Mark Goedkoop, 2000).

Para los valores finales que se obtienen en esta metodología, es posible normalizar cada etapa, por medio de los factores que igualan las categorías de impacto en una misma escala, tal como se observa en la tabla 4.13.

Los valores de normalización presentados en la tabla 4.13, sirven de apoyo para la valoración del ciclo de vida y la correspondiente comparación del Ecoindicador 99 con la metodología CML 2000 Baseline.

El propósito de la normalización, es fundamentalmente particular para la toma de decisiones,

Categoría de daño	Normalización
Salud Humana	$2,15 \times 10^2$
Calidad del Ecosistema	$1,78 \times 10^{-4}$
Recursos	$2,88 \times 10^{-3}$

Tabla 4.13: Valores de normalización de cantidades en Ecoindicador 99 (Lynch Navarro, 2015)

caracterizado por presentar un conjunto de alternativas, que pueden tener diferencias importantes de desempeño, necesario para lograr la unificación de la escala (Lynch Navarro, 2015).

Existen diversas maneras de normalizar los valores internos de un base de datos, en particular para un ACV, entre estos se encuentra la división entre la fase de máximo valor, dividiendo cada categoría por este. Sin embargo, existe un método de “línea de base” interno, en el cual existe un enfoque comparativo simple donde los resultados caracterizados, se dividen entre la alternativa seleccionada por el programa de cálculo. Dicha base de datos es suministrada para el presente proyecto, por medio de la normalización del software SIMAPRO v.7, la cual es suministrada del estudio de (Lynch Navarro, 2015) y en la cual se presenta la normalización de la misma base tanto para Ecoindicador 99, como para el CML 2000 Baseline.

Para el presente caso de estudio, se muestra la tabla 4.14, en la cual se aprecian los valores correspondientes, considerados de la Guía Ecoindicador’ 99 (2002), donde se especifican los criterios para la toma de decisiones en cada fase del ACV.

Elemento del producto (Material/Proceso)	Cantidad	Unidad de medida	Indicador (Milipuntos/kg o kWp)	Resultado (Milipuntos)
Producción				
Panel				
Techo solar Monocristalino m-Si	4240	kWp	2,4	10.176
Bastidor				
Aluminio 0% rec	96	kg	780	74.880
Extrusión-Aluminio	96	kg	72	6.912
Triángulo conector				
Hierro fundido	100	kg	240	24.000
Extrusión - Acero	100	kg	72	7.200
Poste				
Acero	196	kg	86	16.856
Extrusión - Acero	140	kg	72	10.080
Actuador lineal				
Acero	8	kg	86	688
Extrusión- Acero	9	kg	72	648
Base inferior				
Acero	179	kg	86	15.394
Extrusión-Acero	179	kg	72	12.888
Gabinete (Zund)				
Acero	80	kg	86	6.880
Laminado -Acero	80	kg	30	2.400
Elementos electrónicos				
Cobre	60	kg	1400	84.000
Aluminio 0% rec	5	kg	780	3.900
Extrusión - Aluminio	5	kg	72	360
Baterías				
Plomo	60	kg	640	38.400
Uso				
Electricidad	92943	kWh	61	5.669.545
Disposición final reciclable				
Reciclado de aluminio	101	kg	-720	-72.720
Reciclado de hierro	100	kg	-70	-7.000
Reciclado de cobre	60	kg	-70	-42.000
Reciclado de plomo	60	kg	NA	-
Disposición final No reciclable				
Residuos urbanos				
Incineración de acero	463	kg	-32	-14.816
TOTAL (Milipuntos)				5.886.471

Tabla 4.14: Aplicación de Ecoindicador 99 al caso de estudio

Categoría de impacto potencial	Acrónimo	Unidad
Agotamiento de recursos abióticos para elementos químicos	ADP_e	kg Sb eq. /kWh (antimonio) o kg ⁻¹ .a ⁻¹
Agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles	ADP_f	MJ eq./kWh
Calentamiento global	GWP	kg CO ₂ eq./kWh
Agotamiento de la capa de ozono	ODP	kg CFC-11 eq./kWh (Clorofluorocarbono 11)
Formación de oxidantes fotoquímicos	POCP	kg C ₂ H ₄ eq./kWh (Etileno)
Acidificación del suelo y del agua	AP	kg SO ₂ eq./kWh (Dióxido de azufre)
Eutrofización	EP	kg PO ₄ eq./kWh (Ácido fosfórico)

Tabla 4.15: Categorías de impacto consideradas en el método CML 2000 Baseline

Al interpretar el resultado obtenido de la aplicación de la metodología Ecoindicador 99, se debe saber que, los procesos y fases del Ciclo de Vida son el resultado de la alternativa propuesta, es decir, que se obtiene una puntuación en función de los elementos dispuestos de la manera esperada.

De este modo, es importante evaluar el efecto de algunas suposiciones referidas a los procesos de mayor relevancia (mayor puntaje en milipuntos), tomando en cuenta lo siguiente:

- ¿Qué ocurre con el resultado si se modifican los materiales?
- ¿Qué ocurre si se varían las preferencias de algunos procesos y disposición final?

Sin embargo, la propuesta principal dada para este proyecto, está basada en materiales previamente adquiridos, por lo que su modificación no es posible, dado que supondría la compra de materia prima nueva, no prevista para este estudio. En este sentido y sabiendo que, el valor total en milipuntos de todas las fases (total) y el discriminado de cada una de estas puede ser normalizada por medio de la tabla 4.13, se procede a realizar este cálculo, obteniendo los resultados correspondientes, tal como se aprecia en la tabla 4.25, para su posterior comparación con la metodología CML 2000 Baseline.

CML 2000 Baseline: Esta metodología, es una adaptación de los trabajos que han sido desarrollados para la ACV, proponiendo una lista de categorías de impacto ambiental, que han de clasificarse en tres grupos, de acuerdo con lo riguroso del caso, tomando en cuenta que, de acuerdo con el estudio pueden o no estar incluidos algunas de las que se muestra a continuación en la tabla 4.15 (Lynch Navarro, 2015). A continuación, se presentan las diversas categorías consideradas para la aplicación de la metodología de CML 2000 Baseline, en la tabla 4.15.

Para los valores que se obtienen en esta metodología, es posible normalizar por medio de unos factores que dan un valor igualitario en cada una de las categorías de impacto, tal como se observa en la tabla 4.16.

Categoría de impacto	Normalización
Depleción Abiótica	3,32.10 ⁻¹²
Acidificación	3,09.10 ⁻¹²
Eutroficación	7,53.10 ⁻¹²
Calentamiento Global (GWP 100)	2,27.10 ⁻¹⁴
Depleción de la Capa de Ozono	8,76.10 ⁻¹⁰
Toxicidad Humana	1,67.10 ⁻¹⁴
Ecotoxicidad de agua dulce	4,83.10 ⁻¹³
Ecotoxicidad de agua marina	1,32.10 ⁻¹⁵
Ecotoxicidad terrestre	3,79.10 ⁻¹²
Oxidación Fotoquímica	9,59.10 ⁻¹²

Tabla 4.16: Normalización de cantidades en CML 2000 Baseline

Tal como se describe anteriormente, existen diversas categorías para la aplicación de la metodología CML 2000 Baseline, sin embargo, la elección de cada una, depende del tipo de proyecto, por lo que se consideraron las siguientes para el presente caso de estudio, especificadas en la tabla 4.16, con su correspondiente valor de normalización.

A continuación, se describen las diversas categorías de impacto para la aplicación de la metodología CML 2000 Baseline, consideradas en el presente caso de estudio.

Agotamiento de los recursos abióticos en el ACV para el caso de estudio: Esta categoría, corresponde a la especificación de la disminución de la disponibilidad de los recursos naturales, siendo involucrados tanto los recursos abióticos como la energía, y representada a través de la ecuación (4.29) (Figuroa and Collazos, 2019).

$$AR = \sum i \times ADF_i \times m_i \quad (4.29)$$

Donde:

Ar: Indicador del agotamiento de los recursos abióticos

mi: cantidad del recurso utilizado (kg)

Fi: factor de caracterización del recurso

Considerando cada factor de caracterización “Fi” presentado en la tabla 4.17, así como el “ADF”, conocido como el factor de agotamiento abiótico, y tomando en cuenta los diferentes elementos que componen en mayor medida los materiales para la construcción del presente desarrollo de producto (Estación de Carga), se realiza el siguiente cálculo.

De la tabla 4.18, se debe tomar en cuenta la consideración de los datos de la masa con valores exactos (caso ideal), con el fin de simplificar los cálculos. De este modo, se debe continuar con el cálculo del resto de categorías, tal como se aprecia a continuación.

Substancia	F $\text{kg}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$	ADF $\text{kg Sb eq}\cdot\text{kg}^{-1}$
Antimonio	13.671,9	1
Azufre (S, in ground)	4,408	0,000358
Bauxita (Al_2O_3 , ore)	0,108	-
Calcio	-	7,08E-10
Carbón (in ground)	0,0005037	0,00363
Cloro	-	4,86E-08
Cloruro potásico (KCl, as K_2O , in ground)	0,086	-
Cobre (Cu, ore)	28,16	0,00194
Cromo (Cr, ore)	0,319	-
Fosfatos (in ground)	0,115	-
Fósforo	-	0,0000844
Gas Natural (in ground)	0,117	0,32
Hierro (Fe, ore)	0,04	8,43E-08
Lignito (in ground)	0,0005037	-
Magnesio	-	3,73E-09
Manganeso (Mn, ore)	0,296	0,0000138
Niquel (Ni, ore)	59,7	-
Perlita (SiO_2)	0,468	-
Petróleo (in ground)	0,0557	0,436
Plata (Ag, ore)	92837	1,84
Plomo (Pb, ore)	157	0,0135
Potasio (K, as K_2O , in ground)	0,086	3,13E-08
Sodio	-	8,24E-11
Sulfato de Bario (BaSO_4 , in ground)	26,91	-
Uranio (U, ore)	181	-
Zinc (Zn, ore)	40,29	-

Tabla 4.17: Factor de caracterización del agotamiento de recursos abióticos

Proceso	Masa (kg)	Células de silicio (Perlita/SiO ₂) Kg eq. Sb ⁻¹ .a ⁻¹	Bauxita (Al ₂ O ₃ , ore) Kg eq. Sb ⁻¹ .a ⁻¹	Hierro (Fe, ore) Kg eq. Sb ⁻¹ .a ⁻¹	Carbón Kg eq. Sb ⁻¹ .a ⁻¹	Cobre (Cu, ore) Kg eq. Sb ⁻¹ .a ⁻¹	Plomo (Pb, ore) Kg eq. Sb ⁻¹ .a ⁻¹	TOTAL (AR) (a ⁻¹)
Panel								
Techo solar Monocristalino m-Si	163,2	0,469						76,54
Bastidor								
Aluminio 0% rec.	96		0,108					10,37
Extrusión - Al	96		0,108					10,37
Triángulo conector								
Hierro fundido	100			0,04				4
Extrusión - Acero	100			0,04				4
Poste								
Acero	196			0,04	0,0005037			7,68
Extrusión - Acero	140			0,04	0,0005037			5,49
Actuador lineal								
Acero	8			0,04	0,0005037			7,02
Extrusión- Acero	9			0,04	0,0005037			7,02
Base inferior								
Acero	179			0,04	0,0005037			7,02
Extrusión-Acero	179			0,04	0,0005037			7,02
Gabinete (2und)								
Acero	80			0,04	0,0005037			3,13
Laminado -Acero	80			0,04	0,0005037			3,13
Elementos electrónicos								
Cobre	60					28,16		1689,6
Aluminio 0% rec	5		0,108					0,54
Extrusión - Aluminio	5		0,108					0,54
Baterías								
Plomo	60						157	9420
TOTAL								11250,10

Tabla 4.18: Cálculo del agotamiento de los recursos abióticos para caso de estudio

Cambio climático en el ACV para caso de estudio: Partiendo de esta categoría, se sabe que la tierra es capaz de absorber parte de la radiación del sol, la cual es dividida entre la atmósfera y los océanos, y esta, al ser absorbida por los gases existentes en la atmósfera, provoca el calentamiento del planeta, denominado Efecto Invernadero, alterando las condiciones del planeta y afectando la salud humana, el ambiente natural y modificándolo. Por ende, la expresión que permite calcular el indicador del cambio climático, viene dada de la ecuación (4.30) (Figuroa and Collazos, 2019).

$$CCI = \sum i \times GWP_i \times m_i \quad (4.30)$$

Donde:

CCI: Indicador Cambio Climático (Climate Change Indicator) (kg CO₂)

mi: masa de la sustancia i (kg)

GWPi: Potencial del Calentamiento Global

GWP sirve para comparar las emisiones de diferentes gases invernadero, definida como la relación entre la contribución a la absorción de calor resultante de la emisión de un (1) kg de un gas con efecto invernadero y a la emisión equivalente de CO₂ a lo largo de un tiempo T (20, 100 o 500 años) y se puede calcular través de la ecuación (4.31) (Figuroa and Collazos, 2019).

$$GWP_{T,i} = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} C_{CO_2}(t) dt} \quad (4.31)$$

Donde:

ai: calentamiento producido por el aumento de la concentración de un gas i (W.m-2.kg-1)

ci: Concentración del gas i en el tiempo t (kg.m-3)

aCO₂: calentamiento producido por aumento de la concentración de CO₂ (W.m-2.kg-1)

CCO₂: Concentración de CO₂ en el tiempo t (kg.m-3)

t: tiempo determinado de estudio

T: límite máximo de tiempo de integración (20, 100 o 500 años)

Los valores de GWP son publicados periódicamente por Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). En la tabla 4.19 se dan dichos valores para las dos últimas revisiones de 1999 y 2001.

Lo importante de este caso es que, las energías renovables no emiten gases de efecto invernadero, en particular para la Estación de Carga Fotovoltaica, por lo que supone una solución limpia que evita la degradación ambiental y no afecta al cambio climático. Sin embargo, al momento de realizar la

Substancia	$GWP_{20}^{(1)}$	$GWP_{20}^{(2)}$	$GWP_{100}^{(1)}$	$GWP_{100}^{(2)}$	$GWP_{500}^{(1)}$	$GWP_{500}^{(2)}$
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1	1	1	1	1	1
Metano (CH ₄)	64	62	24	23	7,5	7
Halon 1301 (CF ₃ Br)	7.900	7.900	6.900	6.900	2.700	2.700
Óxido de Nitrógeno (N ₂ O)	330	275	360	296	190	156
Tetrafluoruro de Carbono (CF ₄)	3.900	3.900	5.700	5.700	8.900	8.900

Tabla 4.19: Factores de caracterización, GWP, en kg CO₂.kg-1, para el cálculo de la categoría de cambio climático, para diferentes gases efecto invernadero y periodos de 20, 100 y 500 años

Proceso	GWPI (IPCC, 2001) Kg CO ₂ .kg ⁻¹	mi (kg)	CCI (kg CO ₂)	TOTAL (kg eq. CO ₂)
Reciclado de Aluminio	1	101	101	101
Reciclado de hierro	1	100	100	100
Reciclado de cobre	1	60	60	60
Reciclado de plomo	1	60	60	60
TOTAL				321

Tabla 4.20: Valores del cambio climático para la Estación de Carga

disposición final de los materiales usados en la producción (caso ideal), se obtienen los siguientes valores expuestos en la tabla 4.20.

Para el caso de la electricidad consumida, las emisiones de CO₂ equivalentes vienen dadas por la siguiente igualdad (Tiznado Palacios, 2014).

$$1kWh = 4,33 * 10^{-4} \text{ ton métricas de } CO_2 \quad (4.32)$$

Como el consumo de electricidad para el caso de estudio es de 92.943 kWh mostrado en la tabla 4.14, se obtiene una emisión de CO₂ de 40,2 Tm (ton métricas) de CO₂, equivalentes a 40,2 kg eq. CO₂. Finalmente, este valor, se suma con el valor reciclado de los metales de 321 kg eq. CO₂ obtenido en la tabla 4.20, resultando un valor total de 361,2 kg eq. CO₂.

Acidificación en el ACV para caso de estudio: Esta categoría hace la distinción de los ácidos que son resultado de la liberación de óxidos de nitrógeno y debido al sulfuro en la atmosfera, así como en el suelo y el agua, lo cual afecta a la flora y la fauna, causando daño a alguno de los materiales de sub-construcción.

El indicador que se emplea para esta categoría es el AI, expresado en g eq. H⁺ (hidrón, medio ácido), y el cual viene dado por la ecuación (4.33)

Substancia	AP
Ácido clorhídrico (HCl)	0,0274
Ácido fluorhídrico (HF)	0,05
Ácido sulfihídrico (H ₂ S)	0,059
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	0,020
Amoníaco (NH ₃)	0,059
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	0,022
Óxidos de azufre (SO ₂)	0,03125

Tabla 4.21: Factores de equivalencia, AP, g eq. H⁺. g⁻¹

$$AI = \sum i \times AP_i \times m_i \quad (4.33)$$

Donde:

AI: Potencial de iones H⁺ (medio ácido)

AP: Potencial de acidificación

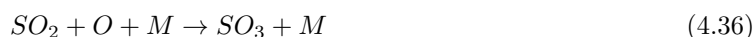
mi: cantidad del recurso utilizado (kg)

Los gases ácidos formados por la combustión de residuos sólidos, como en el caso de la incineración del acero, incluyen dióxido de azufre (SO₂), trióxido de azufre (SO₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF), formados en función de la cantidad de azufre, cloro y flúor contenido en el residuo, donde los halógenos actúan como un oxidante.

Consecuentemente la formación de HCl y HF son reacciones en fase gas homogéneas, el hidrógeno es preferentemente oxidado por el cloro y el flúor mucho más que el oxígeno. Las moléculas de azufre son inicialmente oxidadas a SO₂, de acuerdo con las siguientes reacciones:



La formación del trióxido de azufre se muestra a partir de la siguiente reacción:



$SO + O_2 \rightarrow SO_2 + O$

Compuesto	Coefficiente	Masa molar	Mol (g/mol)	Peso (g)
Reactivos				
				<input type="button" value="Monóxido De Azufre"/> <input type="button" value="Dioóxígeno"/>
SO	1	48.0644	9632,909180183255	463000
O ₂	1	31.9988	9632,909180183255	308241,53427484795
Productos				
				<input type="button" value="Dioóxido De Azufre"/> <input type="button" value="Oxígeno"/>
SO ₂	1	64.0638	9632,909180183255	617120,767137424
O	1	15.9994	9632,909180183255	154120,76713742397
<input type="button" value="Balancea la ecuación"/>				<input type="button" value="Calcula el Reactivo Limitante"/>

Figura 4.10: Reacción estequiométrica SO

El trióxido de azufre será convertido a dióxido de azufre por cualquiera de las siguientes reacciones:



De este modo, empleando el factor de equivalencia AP, tal como lo muestra la tabla 4.21 correspondiente con el proceso de incineración del acero, como disposición final del producto construido del caso de estudio, se consigue el siguiente valor, considerando un peso inicial de materia incinerada de 463.000 g, equivalentes a los 463 kg presentados en la tabla 4.14 (valor total de la materia prima, caso ideal) y tomando en cuenta la relación estequiométrica de la primera reacción, para la producción de SO₂, se obtiene un valor del indicador de acidificación, tal como se aprecia en la tabla 4.22.

Nota: Esta relación se calcula por medio del software calculadora estequiométrica⁴.

Al ingresar esta reacción en el enlace anterior el resultado se muestra en la figura 4.10.

En la tabla 4.22, se considera que la masa total inicial corresponde al SO₂ proveniente de la materia prima usada para la construcción del proyecto (caso ideal), de lo cual se obtiene 19.285,02 g eq. H+

⁴ChemicalAid: <https://www.chemicalaid.com/tools/reactionstoichiometry.php>

Proceso	AP (g eq. H ⁺ . g ⁻¹)	mi (g)	AI (g eq. H ⁺)	Total (g eq. H ⁺)
Incineración de acero		463000		
SO ₂	0,03125	617120,76	19285,023	19285,02
Total				19285,02

Tabla 4.22: Cálculo de la acidificación producto de la incineración del acero para Estación de Carga

Además de lo anteriormente descrito, se debe considerar que, a una mayor concentración de iones H⁺ en el proceso de combustión la mezcla de gases será más ácida y por ende más contaminante. Sin embargo, para reducir esta concentración, es necesario el planteamiento de diferentes escenarios comparativos para tomar una elección, lo cual en el caso de estudio se toma como un único escenario, que será contrastado con la metodología Ecoindicador 99.

Toxicidad en el ACV para caso de estudio: Para esta categoría, se consideran aquellos elementos y efectos que tienen algunos de los compuestos sobre los humanos y el ecosistema acuático y terrestre, en cuyo caso se convierte en una consideración de relevancia para el presente caso de estudio. Para ello, el cálculo de este factor se realiza por medio de la ecuación (4.40) que se muestra a continuación.

$$HTI = \sum_n \sum_i i \times HTP_{i,n} \times f_{i,n} \times m_i \quad (4.40)$$

Donde:

HTI: Impacto de toxicidad en humanos

HTP: Factor de caracterización de toxicidad en humanos

f_{i,n}: fracción de la sustancia i que transporta desde el invernadero al compartimiento ambiental n (adimensional)

m_i: masa emitida de cada contaminante

Lo mismo sucede con el caso de la ecotoxicidad acuática (ATI) y la ecotoxicidad terrestre (TTI), tal como se observa en las ecuaciones (4.41) y (4.42) respectivamente.

$$ATI = \sum_n \sum_i i \times ATP_{i,n} \times f_{i,n} \times m_i \quad (4.41)$$

$$TTI = \sum_n \sum_i i \times TTP_{i,n} \times f_{i,n} \times m_i \quad (4.42)$$

Substancia	HTP	ATP	TTP
aire	kg eq. Pb, kg ⁻¹	kg eq. Zn, kg ⁻¹	kg eq. Zn, kg ⁻¹
Aldehido (sin especificar)	0,0087		
Arsénico (As)	9,000	0,078	0,75
Benceno (C ₆ H ₆)	0,012		
Cadmio (Cd)	19,000	79	3,14
Cobalto (Co)	12,900		0,08
Cobre (Cu)	145	0,66	0,14
Cromo (Cr III, Cr VI)	3,700	0,39	0,08
Estaño (Sn)	9		
Formaldehido (CH ₂ O)	0,0099		
Mercurio (Hg)	46,000	196	5,94
Monóxido de Carbono (CO)	0,00014		
Níquel (Ni)	370	0,12	0,35
Oxidos de Azufre (SO ₂ , as SO ₂)	0,0075		
Oxidos de Nitrógeno (NO _x , as NO ₂)	0,002		
Partículas (sin especificar)	0,0075		
Plomo (Pb)	2,300	1,28	0,13
Selenio (Se)	64,000		
Zinc (Zn)	27	0,076	0,33
suelo			
Arsénico (As)	0,7	0,24	2,3
Cadmio (Cd)	1,46	240	9,6
Cobalto (Co)	1		0,26
Cobre (Cu)	0,009	2	0,42
Cromo (Cr III, Cr VI)	0,29	1,2	0,26
Mercurio (Hg)	3,6	600	18,300
Níquel (Ni)	0,029	0,36	1,100
Plomo (Pb)	0,6	3,9	0,410
Zinc (Zn)	0,0007	0,23	1,000
agua			
Aceites (sin especificar)		0,13	
Arsénico (As ³⁺ , As ⁵⁺)	1,5		
Cadmio (Cd ²⁺)	3,2	520	
Cobalto (Co I, Co II, Co III)	2,2		
Cobre (Cu ⁺ , Cu ²⁺)	0,022	5,2	
Cromo (Cr III, Cr VI)	0,62	2,6	
DOB5 (Demanda Oxígeno Bioquímico)	0,022	0,00013	
Estaño (Sn ²⁺ , Sn ⁴⁺)	0,0015		
Fenoles (C ₆ H ₅ OH)	0,052	15,4	
Fluoruros (F ⁻)	0,045		
Fosfatos (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , as P)	0,0000032	0,01	
Mercurio (Hg ²⁺ , Hg ²⁺)	7,8	1300	
Níquel (Ni ²⁺ , Ni ²⁺)	0,062	0,79	
Plomo (Pb ²⁺ , Pb ²⁺)	0,86	5,2	
Selenio (Se II, Se IV, Se VI)	10,9		
Zinc (Zn ²⁺)	0,0032	1	

Tabla 4.23: Factores de equivalencia HTP, ATP y TTP utilizados en las categorías de toxicidad humana, ecotoxicidad acuática y terrestre según el método CST

Finalmente, al considerar el proceso de incineración del acero, se generan óxidos de nitrógeno como el NO₂, el cual va de acuerdo con la siguiente reacción (Domènech et al., 2016).



Considerando un peso inicial de materia incinerada de 463 kg y tomando en cuenta la relación estequiométrica de la reacción, para la producción de NO₂, se obtiene el siguiente valor de toxicidad, tal como se aprecia en la tabla 4.24.

Para este cálculo (caso ideal), se considera que, la fracción de la sustancia *i* que transporta desde el invernadero al compartimiento ambiental *n* expresado en las ecuaciones (4.40), (4.41) y (4.42)

Procesos	Toxicidad en humanos HTP (Kg eq. Pba.Kg ⁻¹)	Ecotoxicidad acuática ATP (Kg eq. Znw.Kg ⁻¹)	Ecotoxicidad terrestre HTP (Kg eq. Zns.Kg ⁻¹)	mi (kg)	Total (kg eq. Pba)
Incineración de acero				463	
NO ₂	0,02			709,87	14,1974
Total					14,20

Tabla 4.24: Cálculo de la toxicidad producto de la incineración del acero para caso de estudio

$\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}$

Compuesto	Coefficiente	Masa molar	Mol (g/mol)	Peso (g)
Reactivos				
				Óxido Nítrico Dióxido
NO	1	30,0061	15430,195860175098	463000
O ₂	1	31,9988	15430,195860175098	493747,7512905709
Productos				
				Dióxido De Nitrógeno Oxígeno
NO ₂	1	46,0055	15430,195860175098	709873,8756452855
O	1	15,9994	15430,195860175098	246873,87564528544

Figura 4.11: Reacción estequiométrica NO

corresponde al valor de uno (1), con el objeto de simplificar los cálculos.

Nota: La reacción anterior se calcula por medio del software calculadora estequiométrica⁵ y el resultado se muestra en la figura 4.11.

Es importante resaltar que, para el análisis de esta categoría anteriormente descrita, referida a la toxicidad, fue considerada sólo la toxicidad en humanos, obviando la ecotoxicidad acuática y la ecotoxicidad terrestre, ya que esta implicación, va a depender de factores como dosis, duración y ruta de exposición, así como la forma y la estructura de la sustancia química misma y los factores humanos particulares de la zona. Por lo tanto, si la emisión inicial proveniente de la disposición de los residuos no es desechada en ningún compartimiento terrestre ni acuático, se considera sólo el valor potencial de la dosis en humanos, de acuerdo con factores como destino y exposición (Goedkoop et al., 1999).

Comparación de metodologías para el análisis medioambiental

⁵ChemicalAid: <https://www.chemicalaid.com/tools/reactionstoichiometry.php>

Materiales o etapa	Valor metodología Ecoindicador 99 (milipuntos)	Factor de normalización	Valor normalizado	Implicación (Afectación comparativa ambiental)
Producción (Agotamiento de recursos)	315.662	2,88E+02	90.910.656	<i>Segundo más ofensivo o nocivo</i>
Uso (Calentamiento global/Cambio climático)	5.669.545	2,88E+02	1.632.828.960	<i>Primero más ofensivo o nocivo</i>
Disposición final – Reciclable (Acidificación)	-121.720	1,78E-04	-22	<i>Tercero más ofensivo o nocivo</i>
Disposición final – No Reciclable (Toxicidad humana)	-14816	2,15E+02	-3.185.440	<i>Menos ofensivo o nocivo (Cuarto más ofensivo)</i>
TOTAL	5,8E+06		1,720E+06	

Tabla 4.25: Normalización de categorías en Ecoindicador 99 para caso de estudio

Para poder realizar la correspondiente comparación entre la metodología Ecoindicador 99 y CML 2000 Baseline aplicada al caso de estudio, es necesario el cálculo para la transformación de los valores encontrados en cada metodología con su base normalizada.

Para el caso de la metodología Ecoindicador 99, con un enfoque estándar, jerárquico y de un análisis sencillo (considerando que los materiales de ensamblado vienen ya preconstruidos), se puede tomar como cierto que, los valores en milipuntos de la tabla 4.14 tienen ya una base normalizada, correspondiendo cada etapa del ACV a una categoría particular. Por lo tanto, los valores que se aprecian en la tabla 4.25 corresponden a los resultados en milipuntos de la propia metodología y a los productos normalizados proveniente de la base de SIMAPRO v.7 (Ver tabla 4.13) correspondientemente, con el fin de jerarquizar el nivel de nocividad de cada categoría y poder compararlos con la posición de cada una de estas con la metodología CML 2000 Baseline, tal como se observa en la tabla 4.27.

Categoría de impacto	Normalización
Depleción Abiótica	$3,32 \cdot 10^{-12}$
Acidificación	$3,09 \cdot 10^{-12}$
Eutroficación	$7,53 \cdot 10^{-12}$
Calentamiento Global (GWP 100)	$2,27 \cdot 10^{-14}$
Depleción de la Capa de Ozono	$8,76 \cdot 10^{-10}$
Toxicidad Humana	$1,67 \cdot 10^{-14}$
Ecotoxicidad de agua dulce	$4,83 \cdot 10^{-13}$
Ecotoxicidad de agua marina	$1,32 \cdot 10^{-15}$
Ecotoxicidad terrestre	$3,79 \cdot 10^{-12}$
Oxidación Fotoquímica	$9,59 \cdot 10^{-12}$

Tabla 4.26: Normalización de categorías en CML 2000 Baseline para caso de estudio

Categoría	Ecoindicador 99	Posición de nocividad	CML 2000 Baseline	Posición de nocividad
Agotamiento recursos	90.910.656	Segundo	7,11E-08	Tercero
Cambio climático	1.632.828.960	Primero	7,29E-12	Segundo
Acidificación	-22	Tercero	5,96E-08	Primero
Toxicidad humana	-3.185.440	Cuarto	2,37E-13	Cuarto

Tabla 4.27: Comparación de valores normalizados de ambas metodologías

Así mismo, se presentan los resultados normalizados de la metodología CML 2000 Baseline, para las respectivas categorías analizadas, tal como se muestra en la tabla 4.26.

Antes de establecer una relación de comparación entre ambas metodologías, es importante destacar el hecho que los valores obtenidos de ambas normalizaciones vistos en la tabla 4.27, no se encuentran en la misma escala, por lo que el orden de las unidades no se encuentra en el mismo rango, como se aprecia en el total de la tabla 4.25 y la tabla 4.26.

Dicho esto, se puede observar que, ambas metodologías, coinciden en que el proyecto es poco ofensivo en cuanto al nivel de “Toxicidad en los Humanos”, dado que esta se encuentra en el cuarto lugar para ambas herramientas de análisis.

Para el caso del “Agotamiento de los Recursos” se puede apreciar que, en el caso de la metodología Ecoindicador 99, este se encuentra en un segundo lugar en la escala ofensiva ambiental normalizada y mostrada en la tabla 4.25, mientras que para la misma categoría, de acuerdo con la metodología CML 2000 Baseline, esta apunta a un tercer lugar, siendo menos perjudicial a nivel medioambiental, específicamente para el agotamiento de los recursos abióticos usados para la construcción (ensamblaje) del proyecto propuesto.

La diferencia anterior, recae en el hecho que, Ecoindicador 99 tiene un enfoque “end-point” o

enfocado al daño, por lo que el hecho de emplear los recursos de la naturaleza directamente reincide en un daño medioambiental irreversible, mientras que en el caso de CML 2000 Baseline se refiere a una metodología con enfoque “mind-point” o causa-efecto, que considera en primera instancia que los recursos van desapareciendo, ocasionando un daño medioambiental mayor y en el cual se establece una base de comparación relativa.

Por su parte, para el caso de la “Acidificación”, se aprecia un primer lugar ofensivo para el caso de la metodología CML 2000 Baseline y un tercer lugar de esta categoría en la metodología Ecoindicador 99. Mientras que, con la categoría de “Cambio Climático”, se obtuvo un primer lugar ofensivo referido al Ecoindicador 99 y un segundo lugar de precaución en el caso de CML 2000 Baseline.

Lo que ocurre con estas últimas dos categorías, tiene que ver con el análisis estequiométrico considerado para la metodología CML 2000 Baseline, la cual fue asumida, partiendo del hecho que, los reactivos iniciales tendrán el peso de la materia prima total utilizada (caso ideal), por lo que conlleva a un resultado diferenciador respecto con Ecoindicador 99. Además de esto, el factor multiplicador que considera cada metodología, tiene diversas implicaciones y rangos numéricos, de acuerdo con el enfoque de cada una de estas.

Finalmente, la comparación de Ecoindicador 99 y CML 2000 Baseline en el caso de estudio, logra proyectar un resultado similar de daño a nivel medioambiental en categorías como: “Agotamiento de recursos”, “Cambio Climático” y “Acidificación”, dado que en ambas metodologías se señala la consideración más peligrosa en estas tres, tomando en cuenta que **la menos perjudicial** coincide para el caso de la Toxicidad Humana.

Dicho lo anterior se concluye que, pese a que ambas metodologías son herramientas empleadas para el cálculo estricto del impacto medioambiental de estas acciones de desarrollo de un proyecto, cada una tiene enfoque diferente (de acuerdo a la etapa de daño), con factores en escalas diversificadas y que por consiguiente pueden diferir en algunas de las categorías tomadas en cuenta. Por esta razón, su comparación es viable, sin embargo, es importante tomar en cuenta los criterios de cada una de estas, con el fin de realizar un correcto análisis de las mismas.

4.5 Evaluación Social

Este proyecto está centrando en la investigación de las necesidades sociales de la comunidad beneficiada, tomando en cuenta una solución de desarrollo viable para el prototipo que se propone y de acuerdo con cada elemento que lo compone. Sin embargo, es importante resaltar que, se requiere complementar esta dimensión social, con los aspectos técnicos, financieros y medioambientales que han sido desarrollados anteriormente.

Generalidades del proyecto

La ubicación espacial de este producto (SFV) se realizó en la Universidad EAFIT, con sede

principal en el sur de la ciudad de Medellín, barrio El Poblado. Las coordenadas de este recinto académico, corresponden a: 6°11'59"N 75°34'43"O, con nomenclatura: Carrera 49, calle 7 sur N° 50, Medellín, Antioquia. Es una universidad privada de Colombia que cuenta desde el año 2010, con la Acreditación Institucional de Alta Calidad. Siendo esta, una Institución de Educación Superior que se encuentra sujeta a inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional, por medio de las Leyes 1740 de 2014 y 30 de 1992 ⁶.

Dentro de la evaluación económica del presente proyecto, se hizo mención de la Ley 1715 de 2014, referida en Colombia al desarrollo y el uso de energía proveniente de fuentes renovables, correspondiendo esta con las características principales del caso de estudio. Esto determina la forma en la que se debe abordar el Estudio de Impacto Social, ya que la implementación de la Estación de Carga Fotovoltaica, permite la disminución del calentamiento global, aumento de la calidad de vida, sostenibilidad de fuentes naturales, entre otras virtudes, que contribuyen finalmente al entorno en el que se da su instalación ⁷.

Estudio de Impacto Social (EIS) del proyecto

El análisis social tiene como objetivo medir las necesidades básicas de una sociedad o medio, tomando en cuenta factores como: alfabetismo, red de servicios básicos (agua corriente - gas natural -electricidad), servicios de salud (clínicas-hospitales), nivel habitacional (integración de grupos), educación (primaria-secundaria-universitaria), generación de energía (mecánica, eléctrica), entre otros. En este sentido, existen diversos estudios que centran el Estudio del Impacto Social, basado en la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes limpias como el caso de Torres (2019) quien aborda “El impacto de las energías limpias en comunidades vulnerables. La energía eólica en la comunidad zapoteca de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca” y en la cual se definen metodologías de evaluación como el de “Análisis Costo-Beneficio Social (ABCS)” y del cual se obtienen conclusiones funcionales para el estado y el país, con un aprovechamiento de la energía limpia y que se relaciona con los elementos sociales.

Por su parte, la metodología de Estudio Social basada en la Evaluación de Impactos es una herramienta importante para las conclusiones de estudios como el de Candela (2013), en el que se establece un “Modelo para el Diseño y Evaluación del Impacto en el Desarrollo Humano en Proyectos de Energías Renovables y Eficiencia Energética”, donde la metodología de impacto está basada en una serie de indicadores, en los cuales se plantean todos los potenciales impactos que los proyectos de Energías Renovables y Eficiencia Energética pueden tener sobre las condiciones de vida de la comunidad donde se implementa el proyecto.

Basado en los criterios anteriores para la elección de las metodologías a implementar en el EIS del presente caso de estudio, se realiza el correspondiente procedimiento para el ABCS y la Evaluación

⁶EAFIT: <https://www.123coordenadas.com/coordinates/648973-universidad-eafit>

⁷ENERGETICA2030: <https://www.energetica2030.co/>

de Impactos, tal como se describe a continuación.

Metodología 1. Análisis Costo-Beneficio Social (ABCS) para caso de estudio: Esta herramienta permite identificar los elementos pertinentes para la correcta toma de decisiones del proyecto de desarrollo, tomando en cuenta el planteamiento de una matriz de variables que inciden directamente en la comunidad beneficiada. Este procedimiento parte del análisis de los indicadores sociales (tabla 2.1), con el objetivo de identificar la alternativa que arroje una mayor carga de bienes en aquellos individuos que habitan o permanecen en la zona en la cual el proyecto será instalado. Para que esto pueda ser posible, se consideran una serie de pasos, tal como se describen a continuación (Lara P and Guevara S, 2018).

1. Definición del problema a atender
2. Identificación de las alternativas posibles del problema
3. Descripción de las alternativas en términos de sus costos y beneficios sociales
4. Recopilación de la información
5. Análisis de la información
6. Obtención de resultados
7. Toma de decisiones

A continuación, se desarrollan cada uno de los siete pasos.

- **Paso 1: Definición del problema**

Para la evaluación del impacto social del presente proyecto de generación de energía (SFV), se toman en cuenta los aspectos relacionados con horas pico de sol en la ciudad, espacio que se necesita para la instalación, disposición final de materiales de construcción (ciclo de vida del producto), entre otros; estas afectaciones delimitan la carga que comprende el efecto social del proyecto, y por lo tanto definen el problema de su implementación. En función de esto, se deben identificar cada una de las alternativas posibles que se generan del planteamiento de este problema, tomando en cuenta los indicadores de la tabla 2.1 y las cuales se identifican a continuación.

- **Paso 2: Identificación de las alternativas posibles del problema**

Alternativa 1: El proyecto es viable en todas las dimensiones incluyendo la social (cumple con los reglamentos y leyes establecidas de acuerdo con el prototipo, ver tabla 4.28).

Alternativa 2: El proyecto no es viable en la dimensión social (incumple con los reglamentos y leyes establecidas de acuerdo con el prototipo, ver tabla 4.28).

Alternativa 3: El proyecto es viable en la dimensión social, sin embargo, incumple con algún(los) reglamento(s) o ley(es) establecida(s) de acuerdo con el prototipo (ver tabla 4.28).

Alternativa 4: El proyecto es viable en la dimensión social, sin embargo, se deben realizar ajustes para cumplir con todo el(los) reglamento(s) o ley(es) establecida(s) de acuerdo con el prototipo (ver tabla 4.28).

- **Paso 3: Descripción de las alternativas en términos de sus costos y beneficios sociales**

Alternativa 1: Tal como se ha demostrado, el proyecto es viable económica, técnica y medioambientalmente y, además, de acuerdo con la tabla 4.29 el proyecto cumple con cada una de las consideraciones establecidas en los impactos posibles a nivel social, teniendo en cuenta el contexto en el cual se pretende instalar la Estación de Carga (Universidad EAFIT).

Alternativa 2: Tal como se ha demostrado, el proyecto es viable económica, técnica y medioambientalmente, sin embargo, de acuerdo con la tabla 4.30 el proyecto no cumple con las consideraciones establecidas en los posibles impactos a nivel social, teniendo en cuenta el contexto en el cual se pretende instalar la Estación de Carga (Universidad EAFIT).

Alternativa 3: Tal como se ha demostrado, el proyecto es viable económica, técnica y medioambientalmente, sin embargo, de acuerdo con la tabla 4.31 el proyecto no cumple con alguna(s) de la(s) consideración(es) establecida(s) en los posibles impactos a nivel social, teniendo en cuenta el contexto en el cual se pretende instalar la Estación de Carga (Universidad EAFIT).

Alternativa 4: Tal como se ha demostrado, el proyecto es viable económica, técnica y medioambientalmente, sin embargo, de acuerdo con la tabla 4.32 debe ser ajustado en alguna de las consideraciones establecidas en los posibles impactos a nivel social, teniendo en cuenta el contexto en el cual se pretende instalar la Estación de Carga (Universidad EAFIT).

Posteriormente, se procede a listar los efectos positivos y negativos que se relacionan con cada una de las alternativas planteadas, tal como se aprecia en la tabla 4.28, tomando en cuenta el concepto que esta tiene frente al contexto social del proyecto (no se consideran los aspectos económicos).

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Efectos positivos	<ul style="list-style-type: none"> Disminución del uso de fuentes de energía convencional Aumento de generación de energía para el público de la zona Mejora en calidad de vida 	<ul style="list-style-type: none"> Si el proyecto no es viable en la dimensión social, no es posible su implementación 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución del uso de fuentes de energía convencional Aumento de generación de energía para el público de la zona Mejora en calidad de vida 	<ul style="list-style-type: none"> Puede haber disminución del uso de fuentes de energía convencional Puede haber aumento de generación de energía para el público de la zona Puede haber mejora en calidad de vida
Efectos negativos	<ul style="list-style-type: none"> Disposición final de materiales Espacio que amerita la instalación del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> Si el proyecto no es viable en la dimensión social, no es posible su implementación 	<ul style="list-style-type: none"> Disposición final de materiales Espacio que amerita la instalación del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> Disposición final de materiales Espacio que amerita la instalación del proyecto
Observaciones	El proyecto se llevaría a cabo	El proyecto no se lleva a cabo	El proyecto se lleva a cabo	El proyecto deja situaciones sociales sin resolver
Conclusiones	El proyecto es viable socialmente	Se debe replantear	El proyecto es viable socialmente	Se debe redactar un informe en el que exista una constancia de cumplimiento futuro para la inconformidad. Ejemplo: el prototipo evoca algún elemento contradictorio a la cultura propia de EAFIT

Tabla 4.28: Efectos relacionados con las alternativas posibles en el caso de estudio

Alternativa 1	Efectos positivos (Beneficios)	Efectos negativos (Costos)
Características	Nombre: Disminución de uso de fuente convencional Efecto: Disminuye calentamiento global Unidad de medida: kg eq. CO ₂	Nombre: Disposición final de materiales Efecto: Contaminación ambiental Unidad de medida: kg eq. CO ₂
	Nombre: Aumento de generación de energía Efecto: Mayor carga de equipos Unidad de medida: kW h/día	Nombre: Espacio para instalación de proyecto Efecto: Menor espacio para otras actividades Unidad de medida: m ²
	Nombre: Mejora de calidad de vida Efecto: Estilo de vida del usuario Unidad de medida: Índice de felicidad	

Tabla 4.29: Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 1

Dado que el Estudio de Impacto Social para el caso de estudio, se enfoca en todas aquellas repercusiones directas e indirectas que conlleva la implementación del proyecto, es importante considerar los efectos sociales, como costos (sombra) que pueden tener un efecto negativo (perjudicial) o positivo (beneficios) en la comunidad de la Universidad EAFIT.

Posterior a la descripción de las alternativas del proyecto, en términos de sus costos y beneficios sociales, se deben definir los siguientes elementos:

Unidad de análisis: Referida a la variable principal analizada desde la dimensión social. En este caso para el proyecto de la Estación de Carga (SFV), son: los metros cuadrados de instalación (m^2) y el índice de felicidad.

Ubicación del proyecto: Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Alternativa 2	Efectos positivos (Beneficios)	Efectos negativos (Costos)
Características	Nombre: El proyecto no es viable en la dimensión social (no cumple con leyes y normas)	Nombre: El proyecto no es viable en la dimensión social (no cumple con leyes y normas)

Tabla 4.30: Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 2

Alternativa 3	Efectos positivos (Beneficios)	Efectos negativos (Costos)
Características	Nombre: Disminución de uso de fuente convencional Efecto: Disminuye calentamiento global Unidad de medida: kg eq. CO ₂	Nombre: Disposición final de materiales Efecto: Contaminación ambiental Unidad de medida: kg eq. CO ₂
	Nombre: Aumento de generación de energía Efecto: Mayor carga de equipos Unidad de medida: kW h/día	Nombre: Espacio para instalación de proyecto Efecto: Menor espacio para otras actividades Unidad de medida: m ²
	Nombre: Mejora de calidad de vida Efecto: Estilo de vida del usuario Unidad de medida: Índice de felicidad	

Tabla 4.31: Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 3

Alternativa 4	Efectos positivos (Beneficios)	Efectos negativos (Costos)
Características	Nombre: Disminución de uso de fuente convencional Efecto: Disminuye calentamiento global Unidad de medida: kg eq. CO ₂	Nombre: Disposición final de materiales Efecto: Contaminación ambiental Unidad de medida: kg eq. CO ₂
	Nombre: Aumento de generación de energía Efecto: Mayor carga de equipos Unidad de medida: kW h/día	Nombre: Espacio para instalación de proyecto Efecto: Menor espacio para otras actividades Unidad de medida: m ²
	Nombre: Mejora de calidad de vida Efecto: Estilo de vida del usuario Unidad de medida: Índice de felicidad	

Tabla 4.32: Características de efectos positivos y negativos para la alternativa 4 (todos son posibles)*

Duración de cada alternativa: De acuerdo con cada una de las alternativas, el horizonte de evaluación (duración más larga), corresponde a todo el año (12 meses).

Efecto de mayor importancia: Espacio para la instalación (m^2) e índice de felicidad.

Efecto con propósito para el proyecto: Mejora de calidad de vida (índice de felicidad).

Una vez culminada la etapa de descripción de los elementos relacionados con las alternativas del proyecto, se debe recopilar la información pertinente para el EIS, tal como se desarrolla a continuación.

- **Paso 4: Recopilación de la información**

Para la correcta recopilación de información de cada alternativa, se requiere establecer y asignar precios y cantidades relacionados con los costos y beneficios de cada una de estas, tal como se aprecia a continuación en la tabla 4.33 (Lara P and Guevara S, 2018).

Alternativa	Costos	Beneficios
1	<p>Disposición final: 321 kg eq. CO₂ (ver análisis medioambiental)</p> <p>Espacio: 15-20 m²</p>	<p>Disminución fuente convencional: 42% más de 321 kg eq. CO₂ (SFV), lo que equivale a 455,8 kg eq. CO₂ (Fuente convencional). Ver análisis económico y medioambiental</p> <p>Aumento generación energía: 12,8 kWh/día (SFV)</p> <p>Mejora calidad de vida: 124,04 (Alta experiencia de felicidad) (Hernández, 2017). Ver Anexo 3</p>
2	<p>El proyecto no es viable en la dimensión social (no cumple con leyes y normas)</p>	<p>El proyecto no es viable en la dimensión social (no cumple con leyes y normas)</p>
3	<p>Disposición final: 321 kg eq. CO₂ (ver análisis medioambiental)</p> <p>Espacio: 15-20 m²</p>	<p>Disminución fuente convencional: 42% más de 321 kg eq. CO₂ (SFV), lo que equivale a 455,8 kg eq. CO₂ (Fuente convencional). Ver análisis económico y medioambiental</p> <p>Aumento generación energía: 12,8 kWh/día (SFV)</p> <p>Mejora calidad de vida: 124,04 (Alta experiencia de felicidad) (Hernández, 2017). Ver Anexo 3</p>
4	<p>Disposición final: 321 kg eq. CO₂ (ver análisis medioambiental)</p> <p>Espacio: 15-20 m²</p>	<p>Disminución fuente convencional: 42% más de 321 kg eq. CO₂ (SFV), lo que equivale a 455,8 kg eq. CO₂ (Fuente convencional). Ver análisis económico y medioambiental</p> <p>Aumento generación energía: 12,8 kWh/día (SFV)</p> <p>Mejora calidad de vida: 124,04 (Alta experiencia de felicidad) (Hernández, 2017). Ver Anexo 3</p>

Tabla 4.33: Precios y cantidades relacionadas con costos y beneficios

Luego de plantear las cantidades referidas a cada uno de los costos y beneficios sociales del proyecto, se continúa con el análisis de la información encontrada hasta el momento y relacionada con cada una de las alternativas (Lara P and Guevara S, 2018).

- **Paso 5: Análisis de la información**

Una vez obtenida toda la información necesaria para realizar el ABCS, se debe emplear la herramienta del análisis Costo-Beneficio, el cual es aplicado de manera manual, tal como se aprecia a continuación en la tabla 4.34 y tabla 4.35 (Lara P and Guevara S, 2018).

Alternativa	Costos
1	VPN Económico: 44.631.133 COP (ver análisis económico)
	VPN Social: Con una tasa social de descuento de acuerdo con Castillo Donald (2018) del 12%, se obtiene un valor de 649.829,04 COP. Ver Anexo 3 (Morin, 2017)
2	El proyecto no es viable en la dimensión social (no cumple con leyes y normas)
3	VPN Económico: 44.631.133 COP (ver análisis económico)
	VPN Social: Con una tasa social de descuento de acuerdo con Castillo Donald (2018) del 12%, se obtiene un valor de 649.829,04 COP. Ver Anexo 3 (Morin, 2017)
4	VPN Económico: 44.631.133 COP (ver análisis económico)
	VPN Social: Con una tasa social de descuento de acuerdo con Castillo Donald (2018) del 12%, se podría obtener un valor de 649.829,04 COP. Ver Anexo 3 (Morin, 2017)

Tabla 4.34: Análisis de la información de costos del ABCS para caso de estudio

- **Paso 6: Obtención e interpretación de resultados**

El Índice Costo-Beneficio neto Social y Económico resulta de dividir los beneficios totales del proyecto sobre los costos totales, arrojando la ganancia neta a obtener del proyecto. Es importante destacar que, el ICB como indicador, muestra cuántos pesos netos se estaría ganando por cada peso invertido (Lara P and Guevara S, 2018). Por lo tanto, se puede observar de la tabla 4.35, que el ICB Social tiene un porcentaje mayor al doble del Económico, lo que señala que aún cuando el proyecto pueda prestar algún tipo de contratiempo por incumplimiento de normatividad, este seguirá siendo viable en la dimensión social.

- **Paso 7: Toma de decisiones**

Finalmente, se sabe que, tanto la alternativa 1 como la 3, tienen prácticamente las mismas condiciones, mientras la 2 no es viable, la 4 puede ocurrir, pero dejaría el proyecto con algunos aspectos a corregir en cuanto a lo social. Sin embargo, lo ideal es cumplir con cada una de las normas y leyes señaladas (indicadores) en la tabla 2.1, con las cuales, si queda alguna por cumplir, el proyecto seguirá siendo viable a nivel social, con un ICB Social del 95%, tal como se muestra en la tabla 4.35.

Consecuentemente, el proyecto será viable en su dimensión social, estará comparado con la metodología de impactos que a continuación se describe, la cual muestra un enfoque más subjetivo, pero que de igual forma, funciona para el efecto y alcance del presente proyecto (Maya, 2018).

Metodología 2. Evaluación de impactos para el caso de estudio: Para un EIS, el impacto es definido como la contribución significativa o no de un elemento sobre el proyecto, establecido como el propósito del mismo considerado una matriz de sectores, en función del cambio o conjunto de ellos en la sociedad, economía, medio ambiente, etc., los cuales se encuentran fuera del alcance de la gerencia

Alternativa	Beneficio Neto	Índice Costo-Beneficio (ICB)
1	Económico: 136.144.830 COP	Económico: 40%
	Social: 11.390.805,12 COP	Social: 95%
2	El proyecto no es viable en la dimensión social (no cumple con leyes y normas)	
3	Económico: 136.144.830 COP	Económico: 40%
	Social: 11.390.805,12 COP	Social: 95%
4	Económico: 136.144.830 COP	Económico: 40%
	Social: 11.390.805,12 COP	Social: 95%

Tabla 4.35: Beneficio Neto e índice Costo-Beneficio para caso de estudio

del proyecto (SENER, 2016).

Para ello, es importante establecer una Matriz de Marco Lógico, la cual se plantea a partir de los elementos aprobados del proyecto que ha de comenzar. Esta evaluación de impacto se realiza a partir de los siguientes parámetros básicos (SENER, 2016).

Pertinencia: Grado en el cual el objetivo del proyecto es consistente con las prioridades de desarrollo de la población y las políticas de la entidad ejecutora o empresa y quien lo financia.

Eficacia: Grado en el cual se logran las metas físicas y financieras de un proyecto, es decir el cumplimiento del propósito del caso de estudio.

Eficiencia: Análisis costo-beneficio de los recursos de forma oportuna.

Impacto/Propósito: Valoración socio-económica global, evidenciando los efectos positivos y negativos, teniendo en cuenta aquellos que han sido deseados o previstos, como los que no.

Sostenibilidad: Apreciación de la capacidad para mantener los impactos positivos del proyecto por un largo periodo de tiempo. Análisis sobre si el efecto global cumple en términos de tiempo (carácter cuantitativo y cualitativo).

En la evaluación social de un proyecto, se hace importante la valoración de un experto para garantizar su calidad, tomando en cuenta los niveles de calificación en una escala como la que se establece a continuación y en la secuencia especificada en la figura 4.12 (Rodríguez and Cobas, 2010)

- 0: Mal
- 1: Regular
- 2: Bien
- 3: Muy Bien

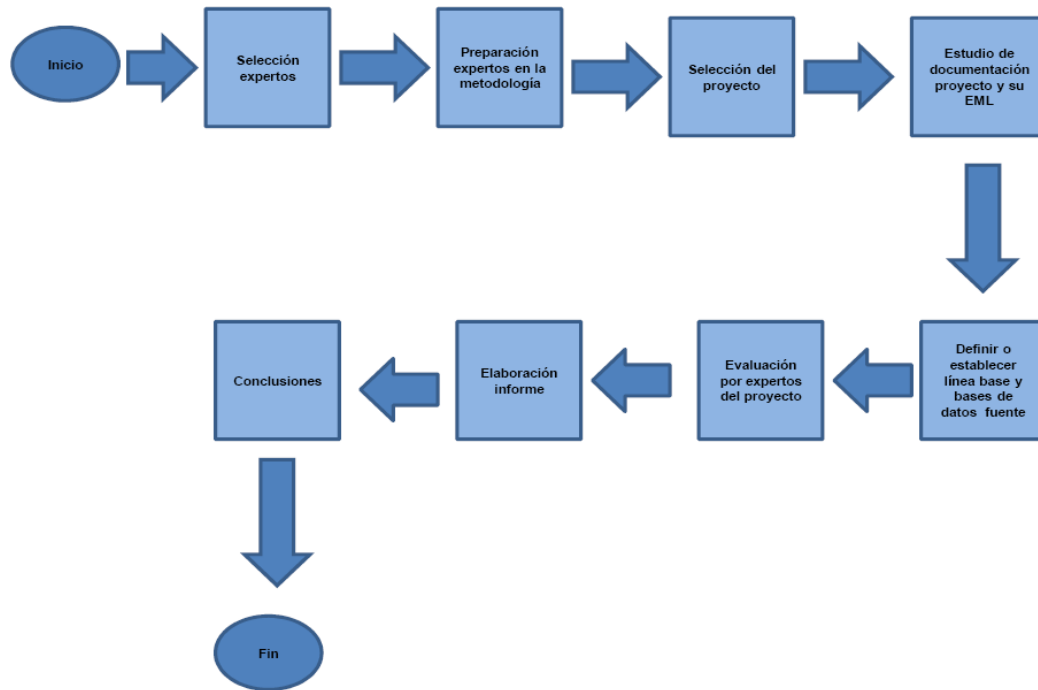


Figura 4.12: Secuencia para la evaluación de impactos de proyectos (EIS). Tomado de:(SENER, 2016)

Establecimiento línea base: En este apartado se emplea la matriz del marco lógico y la documentación del proyecto, donde deben estar descritos los antecedentes y su justificación, los elementos de partida del escenario que impulsaron su realización; o puede utilizarse la información generada por una evaluación posterior a su ejecución (SENER, 2016).

Evaluación por expertos: Acá debe existir una comparación de cada criterio de evaluación de impacto del proyecto entre sí, tomando a uno de ellos como referencia/impacto, asignándoles valores cualitativos en una escala de 1 a 9, asignados por consenso y calificados, como se muestra en la tabla 4.36 (SENER, 2016).

Dado que los resultados del impacto de un proyecto pueden tributar a un impacto o a varios, los expertos evaluadores pueden en equipo y por consenso identificar cualitativamente el impacto del proyecto en diferentes sectores y en qué proporción, ayudando a visualizar de mejor manera la contribución del proyecto a los diferentes tipos de impacto como se aprecia en la tabla 4.37 (SENER, 2016).

Criterios	Peso	Evaluador 1	Evaluador 2	Evaluador 3	Promedio	Calificación
Impacto	0.48	3	4	5	4	1.9
Sostenibilidad	0.51	3	3	3	3	1.6
Pertinencia	0.46	4	3	3	3.3	1.5
Eficacia	0.35	5	4	3	4	1.4
Eficiencia	0.45	3	4	5	4	1.8
Total (Calificación)	2.25	3.6	3.6	3.8	3.6	

Tabla 4.36: Calificación de criterios vinculados al proyecto (caso de estudio)

Tipos de impactos			
Técnicos	Económicos	Sociales	Medioambientales
0.1	0.5	0.5	0.2

Tabla 4.37: Distribución de impactos totales (100% caso de estudio)

De acuerdo con en el análisis de la tabla 4.37, se puede decir que el proyecto desde su dimensión social (con una perspectiva más subjetiva) será viable, tomando en cuenta el valor predeterminado de cada criterio que establece la metodología de evaluación de impactos en la tabla 4.36.

Tal como se mencionó con anterioridad, la presente metodología se aplica con la intención de complementar el análisis previsto por la herramienta de CBS, la cual concuerda con el resultado obtenido por la metodología 2 del análisis social y les da una mayor consistencia a los datos hallados en ambos casos. Es importante considerar cada una de las dimensiones del caso de estudio en un análisis multidimensional, ya que se puede apreciar en cada una de ellas el vínculo de al menos una de las otras, por lo que la interrelación de las dimensiones es inherente en cada uno de los análisis. Por lo tanto, se concluye que la dimensión social del proyecto es viable y se complementa con el análisis de las otras tres dimensiones; técnica, económica y medioambiental.

4.6 Resultados de la evaluación Multidimensional

Luego de ser evaluadas las cuatro áreas del análisis multidimensional propuestas, en la tabla 4.38 se presenta una matriz resumen que contienen los valores obtenidos en cada una de las herramientas o indicadores utilizados, así como también la decisión probable presente a la viabilidad o no de acuerdo a los parámetros estandarizados en cada uno de ellos.

Dimensión	Indicador	Valor	Criterio	Viabilidad	Conclusión dimensión
Técnica	SS (%)	33%	Para estaciones de carga combinadas SS: 50% (en horas de mayor consumo)	Es viable supera la media esperada de 50% para SFV de tamaño medio	Viable
	SC (%)	17%	Para estaciones de carga combinadas SC: 15% (en horas de mayor consumo)	Es viable frente a la cantidad de energía generada del sistema completo. Autoconsumo bajo frente a la generación de aprox. 30% (SFV) de la usada del sistema SFV+Digital	
Económica	VPN (\$)	26.239.504 COP (6 ^{to} año en un horizonte de 10 años)	VPN > 0 Aceptable VPN < 0 Rechazado VPN = 0 Indiferente En el horizonte propuesto	Viable en el horizonte propuesto de 10 años	Viable
	TIR (%)	15,54%	TIR > Tasa interna de rendimiento, Aceptable TIR = Tasa interna de rendimiento, Indiferente TIR < Tasa interna de rendimiento, Rechazado	El valor hallado representa un 15,38% , en 6 años , lo cual es mayor al 13,74% de interés de rendimiento utilizada para su comparación, por lo que es viable	
	PRI (años)	3,55 años	PRI > Horizonte, No concluyente PRI < Horizonte, Aceptable	El valor hallado es menor al horizonte por lo cual se considera viable	
	FRC (años)	6 años	FRC > Horizonte, No concluyente FRC < Horizonte, Aceptable	El valor hallado es menor al horizonte por lo cual se considera viable	
	LCOE (USD/MWh)	722 USD/MWh	Tabla comparativa respecto a proyectos con características similares (uso de fuente limpia y con capacidades similares)	Frente a las fuentes de generación comparadas, y usando los valores del caso de estudio, el proyecto No es viable	
	Ecoindicador 99	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento de recursos: 30,910,656 • Cambio climático: 1,632,828,960 • Acidificación: -22 • Toxicidad Humana: -3,185,440 	Se ordena de acuerdo con los valores obtenidos y los signos de cada indicador	Agotamiento recursos: Segundo más ofensivo o nocivo Cambio climático: Primero más ofensivo o nocivo Acidificación: Tercero más ofensivo o nocivo	
Medioambiental	CML2000 Baseline	<ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento recursos: 7,11E-08 • Cambio climático: 7,29E-12 • Acidificación: 5,96E-08 • Toxicidad Humana: 2,37E-13 	Se ordena de acuerdo con los valores obtenidos y los signos de cada indicador	Toxicidad humana: Menos ofensivo nocivo (Cuarto más ofensivo) Agotamiento recursos: Tercero más ofensivo o nocivo Cambio climático: Segundo más ofensivo o nocivo Acidificación: Primero más ofensivo o nocivo	Viable
	ABCS (VPN Social en \$)	643.629,04	VPN Social > VPN Económico, Viable VPN Social < VPN Económico, No viable	Toxicidad humana: Menos ofensivo nocivo (Cuarto más ofensivo)	Viable
	Evaluación de impacto	3,6 - 3,8	Valor > 3 Aceptable Valor < 3 No Aceptable	El VPN Social de las alternativas es de 95%; frente a un 40% de VPN Económico por lo que es viable	
				Dado el rango hallado es viable de acuerdo con la metodología	

Tabla 4.38: Matriz de evaluación Multidimensional

Capítulo 5

Conclusiones

Luego de realizar el correspondiente análisis de cada una de las dimensiones estudiadas para la evaluación del presente proyecto, es posible presentar los siguientes hallazgos de mayor relevancia.

En cuanto al análisis de las metodologías encontradas en el estado del arte:

- Estas fueron escogidas de acuerdo con la obtención de resultados confiables en estudios anteriormente desarrollados para el diseño de proyectos de generación de energía, tomando en consideración que en cada una de las dimensiones ameritaba al menos dos de estas metodologías, con el fin de comparar ambos resultados.
- La escogencia de cada uno de los métodos implementados en las dimensiones: técnica, económica, medioambiental y social, tuvieron fundamento en la optimización de los recursos económicos, así como en la materia prima, con el fin de establecer una relación directa entre cada una de estas.
- Se emplearon herramientas de cálculo eficientes para evaluar la viabilidad técnica, económica, social y medioambiental, tomando en cuenta cada una de las características fundamentales del presente caso de estudio de la estación de carga a implementar en la Universidad EAFIT.
- El presente caso de estudio puede ser trasladado a otro lugar, dada la estandarización de los cálculos, los cuales reflejaron que, en cada una de las áreas evaluadas, el proyecto es viable.
- El enfoque integrado de las dimensiones analizadas en el caso de estudio permitió descartar herramientas que no proporcionaban conclusiones claras. Esto posibilitó comparar aquellas que sí ofrecían resultados concluyentes, lo que llevó a una evaluación sobre la viabilidad del proyecto según sus capacidades.
- La Evaluación del modelo multidimensional, partiendo de los resultados hallados luego de la aplicación de la misma, concluyen que el proyecto es viable en todas las dimensiones, dados los

valores encontrados en los rangos permitidos de cada una de estas, tal como se aprecia en la matriz multidimensional.

Luego de realizar el correspondiente análisis de cada una de las dimensiones evaluadas para el caso de estudio planteado, se presentan los siguientes aspectos como los hallazgos de mayor relevancia dentro del análisis.

En cuanto al análisis técnico del caso de estudio:

- La energía bruta proveniente del SFV no está disponible las 24 horas del día, por lo que es de suma importancia que la estación de carga se encuentre permanentemente conectada, es decir, “On-grid”, y de esta manera estar disponible para suplir la demanda de cada uno de los usuarios que empleen la estación de carga.
- El consumo de energía proveniente de la estación de carga depende en gran medida de las condiciones climáticas, dada la capacidad que tiene cada uno de los paneles que conforman el SFV, sin embargo, este porcentaje estará en función del sistema global SFV + On-grid, por lo que es importante mantener alimentada la fuente por medio de la energía On-grid en un 70%, para que este pueda mantener su autonomía durante su uso.
- Los indicadores de autoconsumo y autosuficiencia, con valores de 17% y 70% respectivamente, son en su proporción coherentes y proporcionales al valor económico y medioambiental hallado, por lo que se puede decir que el proyecto, cuenta con las cualidades técnicas necesarias para su implementación en campo.
- Las consideraciones y datos empleados en cada uno de los elementos que serán conectados a la estación, fueron hallados en fuentes primarias de información, de modo que su cálculo funciona para términos estándares de diseño de la misma.
- Es importante considerar las afectaciones e implicaciones que tiene la estación de carga en momentos de mínimo y máximo consumo, proveniente de la demanda de los usuarios, de modo que se puedan obtener valores por debajo y por encima de lo esperado.

En cuanto al análisis económico del caso de estudio:

- Tomando en consideración la inversión inicial de 170.000.000 COP, se puede establecer que, la incorporación del valor de dicho capital al diseño y puesta en marcha del proyecto, tendría un comportamiento de efectividad en un período aproximado de 6 años.
- Dado que es un proyecto aplicado en un espacio académico sin fines de lucro, su aplicación en términos monetarios (TIR) podría considerarse “indiferente”. Sin embargo, los cálculos realizados permiten establecer que la estación de carga, bajo las condiciones de su construcción actual, tiene un VPN que empieza a ser positivo a partir del año 6.

- El periodo de recuperación de la inversión - PRI inicial del presente proyecto es similar al horizonte propuesto para la Tasa Interna de Retorno - TIR, 6 años, por lo cual el proyecto es viable en términos económicos.
- Desde el punto de vista de la recuperación del capital del presente proyecto, tomando en cuenta cada una de las variables obtenidas con los indicadores del VPN, TIR Y PRI, es posible establecer un valor de retorno de la inversión en un periodo cercano a los 6 años.
- El LCOE, como indicador financiero relacionado con la generación de energía, en un escenario de autoconsumo y, comparado con otras estaciones de características similares, establece una mejora en los costos operativos de hasta un 42% frente al uso de energías convencionales como el de diésel, carbón y gas, que demandan cifras cercanas a 450 USD/MWh.
- Producir energía proveniente de fuentes no convencionales (energía limpia), tiene implicaciones de inversiones iniciales elevadas, sin embargo, el resultado operativo posterior, disminuye en gran medida el mantenimiento y aumenta su sostenibilidad en el tiempo durante su uso.
- Tomando en cuenta cada uno de los indicadores estudiados para la dimensión económica del presente proyecto, es posible establecer que es viable en términos de diseño y puesta en marcha, sin embargo, el retorno de la inversión, que en este caso se calcula en aproximadamente 6 años, depende de las características particulares de operación, incentivos económicos, deducciones fiscales y otros aspectos que incentiven o permitan obtener ingresos adicionales y no solo los provenientes del ahorro en los consumos de energía.

En cuanto al análisis medioambiental del caso de estudio:

- Tomando en cuenta el Ecoindicador 99, como criterio medioambiental basado en el ACV (Análisis del Ciclo de Vida) considerado en estudios de generación de energía, se establece una jerarquía de nocividad que va primero, con el calentamiento global, segundo con el agotamiento de los recursos, tercero con la disposición final de los insumos (acidificación) y finalmente y menos ofensivo en términos ambientales, con la disposición final/no reciclable (toxicidad humana).
- Tomando en cuenta el CML 2000 Baseline para el presente caso de estudio, se encontró una coincidencia con el anterior indicador, dada la cuarta posición de menor nocividad en términos de disposición final/no reciclable, sin embargo, se identificó un nivel mayor de nocividad para la disposición final de los insumos, relacionada con la acidificación.
- Es importante establecer una base de normalización de los indicadores empleados para el análisis medioambiental del proyecto, de modo que la comparación en términos de nocividad, proveniente de su diseño, puesta en marcha y posterior disposición, pueda ser viable y concluyente.

- Los resultados hallados del análisis para la dimensión medioambiental fueron establecidos en términos de idealidad, por lo que los valores iniciales y los que fueron calculados, no tienen consideraciones de cambio de materia o pérdida de la misma, por lo que estos valores pueden no ser concluyentes en términos de viabilidad.

En cuanto al análisis social del caso de estudio:

- Es importante establecer las condiciones sociales iniciales del proyecto, de modo que los valores implementados, así como las consideraciones generales del mismo estén acordes con la Evaluación del Impacto Social (EIS), tales como: actitudes de la población, tipo de generación de energía, disposición de materiales, porcentaje de población con acceso al producto, etc.
- El ABCS, como indicador cualitativo y cuantitativo social del presente proyecto, establece una viabilidad en esta dimensión, con un VPN social permisible de 649.829,04 COP, con un beneficio social por encima del esperado, tomando en cuenta que, este es viable en todas las dimensiones anteriormente descritas.
- En cuanto a la evaluación de impacto social para el presente caso de estudio, teniendo como base estandarizada propuesta cuantitativamente por expertos para proyectos de generación de energía es viable con un rango de 3,6-3,8 por encima de la media permitida de 3.

En cuanto al análisis multidimensional (las 4 dimensiones) del caso de estudio:

- Se evidencia que, el integrar cada uno de los métodos implementados en las diferentes dimensiones de estudio: técnica, económica, medioambiental y social, permite tener un enfoque mucho más amplio de los resultados hallados, contextualizando la necesidad de generar energía proveniente del sol, de manera que, cada una de las herramientas cuantitativas empleadas en el proyecto puedan ser extrapoladas a otra localización, tomando en cuenta las variables pertinentes en la valoración del impacto multidimensional.
- Es posible implementar diferentes métodos en cada una de las dimensiones estudiadas en el presente proyecto, de manera que, al ser combinadas pertinentemente y situadas en el contexto actual, se obtenga un valor final que, estandarice la manera de evaluar proyectos de generación de energía limpia y renovable, tales como: solar, eólica, hidroeléctrica, de biomasa, entre otras.
- Las metodologías escogidas en cada una de las dimensiones de estudio del presente proyecto fueron coherentes entre sí, así como la interrelación encontrada entre las diferentes dimensiones en más de un 50%, de manera que, el resultado final hallado, pudo evidenciar un resultado global y final, a través de la matriz de valoración en cada una de ellas, con valores en los rangos permisibles.

- La integración del modelo multidimensional implementado en la evaluación del presente proyecto, tomando en cuenta el sector energético proveniente de fuente limpia y renovable, es escalable a otro tipo de proyectos, dadas las cualidades propias de cada uno de los métodos cuantitativos seleccionados con pertinencia en de las dimensiones, ya que, son métodos comprobados ampliamente en otro tipo de proyectos de generación de energía proveniente de fuentes renovables.
- El desarrollo del análisis multidimensional propuesto en el presente proyecto, para la generación de energía proveniente de fuentes renovables, fue escogido de acuerdo a la aplicabilidad de cada una de las herramientas empleadas en otro tipo de proyectos con características similares, combinando las mismas, de acuerdo con variables semejantes que permitieran definir concretamente la viabilidad o no en cada una de estas, así como la viabilidad multidimensional de la presente propuesta.
- En términos ideales, el análisis multidimensional arrojó que el proyecto es viable en más de un 50%, sin embargo, es importante considerar otros posibles escenarios en cada una de estas dimensiones: técnica, económica, medioambiental y social, de modo que se tenga una comparación mucho más real de las bondades que tiene el presente proyecto.
- En cada una de las dimensiones analizadas para la viabilidad del presente proyecto, se consideraron valores estándares, de modo que la normalización de los valores finales encontrados se pudieran comparar en una misma base.
- Toda tecnología nueva o en fase de desarrollo requiere de los incentivos para alcanzar la rentabilidad. En Colombia, como en otros países, incentivos como los que otorga la la Ley 1715 en ocasiones no son suficientes, hasta la fecha, para empujar las tecnologías hasta una tasa de retorno interno suficientemente atractiva en el mediano plazo para la empresa privada en general.

References

- Caro-González, A. (2016). *Diseño de un índice de efectividad para el análisis de metodologías empleadas en la elaboración de estudios de impacto ambiental en Colombia*. PhD thesis, Facultad de Ingeniería, Departamento de ingeniería Química y Ambiental.
- CAZAUX, G. and Roura, H. (2017). Importación de bicicletas eléctricas - evaluación privada. *Universidad del CEMA*.
- Contreras, O. E. (2015). Estado del arte de las metodologías para la evaluación ambiental en proyectos de inversión. *Revista Sinapsis*, 7(1):21–34.
- Correa García, J. A., Ramírez Bedoya, L. J., and Castaño Ríos, C. E. (2010). La importancia de la planeación financiera en la elaboración de los planes de negocio y su impacto en el desarrollo empresarial. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 18(1):179–194.
- De la Cruz Fernández, E. (2020). Diseño de un sistema eléctrico aislado utilizando el software homer para electrificar el caserío santa rosa de tumar en el distrito de huambos, provincia de chota-cajamarca. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*.
- Domènech, X., Jardim, W. F., and Litter, M. I. (2016). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*, 2016:3–26.
- Duarte Cáceres, E. A. (2019). Modelo de simulación de un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico acoplado a un motor de combustión interna diesel bi-fuel integrando un gasificador de biomasa para zonas no interconectadas. *Universidad Autónoma de Bucaramanga, UNAB*.
- Elizabeth, A. G., Stefanee, E. G. L., and Isabel, G. L. L. (2022). Energía social y transición energética en colombia. de las prácticas sociales a la gobernanza energética.
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., and Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3):234–254.
- Ferrer, Y. R. (2016). Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros. *Luna Azul*, 42(42):256–269.

- Figueroa, C. M. G. and Collazos, A. P. (2019). Determinación de impactos ambientales en planta de tratamiento de aguas residuales mediante análisis de ciclo de vida ambiental-acv. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 14(1):85–94.
- Fraboulet, D., Faure, A., and KIT, W. F. (2015). Self-consumption of electricity from renewable sources. *power*.
- García, H., Corredor, A., Calderón, L., and Gómez, M. (2013). Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en colombia. *FEDESARROLLO*.
- Goedkoop, M., Effting, S., and Collignon, M. (1999). Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. *Proyectar y producir. Recuperado de: [http://www. publicaryproducir.com. ar/public_html/Seminarios_posgrado](http://www.publicaryproducir.com.ar/public_html/Seminarios_posgrado)*.
- Gordo Barreiro, E. M., Potes López, J. A., and Vargas Quimbaya, J. L. (2017). Factores que ocasionan retrasos en obras civiles en empresas publicas de neiva. *Universidad de Santo Tomas-Sede Florida Blanca - Bucaramanga*.
- Green Energy (2023). EnergÍA para viviendas solar & eÓlica. <https://www.greenenergy.com.pe/energia-para-viviendas-solar-eolica/>. [Accessed 31-10-2023].
- Hernández, C. and Villacís Aguilera, A. (2016). Técnicas utilizadas en la gestión de interesados en la planeación y seguimiento de proyectos en organizaciones de cali-colombia. *Especialización Gestión Integral de Proyectos. http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/3723/1/Tecnicas_utilizada_s_gestion_hernandez_2016.pdf*.
- Hernández-Touset, J. P., García-Rodríguez, A., Ruiz-Correa, T., Expósito-Hernández, O., and Rodríguez-Romano, F. A. (2012). Evaluación tecnológica del proyecto del sistema de preparación de pastas en la fábrica de papel "pulpa cuba". *Tecnología Química*, 32:63 – 72.
- Kvam, R. (2018). Evaluación del impacto social. *Banco Interamericano de Desarrollo (“BID”)*.
- Lara P, J. and Guevara S, A. (2018). Metodología para el análisis costo-beneficio social. *IKI Alliance*.
- Londoño Zuluaga, M. A. et al. (2019). *Evaluación financiera de un proyecto hidroeléctrico a partir del análisis de las leyes 1715 de 2014 y 1819 de 2016: estudio de caso de una compañía del sector eléctrico*. PhD thesis, Universidad EAFIT.
- Lynch Navarro, A. I. (2015). Uso de la metodología de evaluación ambiental de ciclo de vida en productos con aplicación a baterías de ion litio para teléfonos móviles. B.S. thesis, Espol.
- Mark Goedkoop, S. E. y. M. C. (2000). Manual práctico de ecodiseño-operativa de implantación en 7 pasos. *Ed. Gobierno Vasco, Departamento de ordenación del territorio, vivienda y medio ambiente*.

- Martínez Maturana, C. (2018). Análisis de ciclo de vida de la generación de energía eléctrica con carbón y paneles fotovoltaicos. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Maya, E. M. (2018). Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión, 2018. *Centro de Estudios par ala preparación y evaluación socioeconómica de proyectos*.
- Meisel-Roca, A. and Aguilera-Díaz, M. M. (2015). Magangué: Capital humano, pobreza y finanzas públicas. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 228*.
- Morales Sánchez, D. H. and Ramírez Contreras, D. F. (2020). Propuesta de una metodología para el cálculo del costo nivelado de energía (lcoe) en proyectos de generación renovable, basado en el flujo de caja financiero. *UNAB Campus Bucaramanga*.
- Olsen, M. E., Curry, M. G., Greene, M. R., Melber, B. D., and Merwin, D. J. (1978). Social impact assessment and management methodology using social indicators and planning strategies. *Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, WA (United States)*.
- Parra, L. S., Rivera, M. E. R., and Lizama, E. R. (2015). Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero. *Industrial Data*, 18(2):99–112.
- Pinto, S. (2017). *Análisis de ciclo de vida comparativo para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovable y convencional*. PhD thesis, Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ponce, V. (2011). La matriz de leopold para la evaluación del impacto ambiental. *Recuperado de http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html*.
- Prado, B. X. (2020). Análisis técnico - económico de una instalación fotovoltaica en consumidores residenciales en áreas rurales aisladas.
- Rodríguez, B. R. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín IiE*, pages 91–97.
- Rodríguez, R. and Cobas, M. (2010). Metodología de evaluación de impactos de proyectos de investigación. *Recuperado de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/078/45078486.pdf*.
- Sanz Arnaiz, I. (2015). Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea. *Universidad Pontificia Comillas*.
- SENER (2016).
- Spiegeler, C. and Cifuentes, J. I. (2014). Diseño de estación solar para carga eléctrica de equipo electrónico. *Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala*.

- Sun, S. I., Kiaee, M., Norman, S., and Wills, R. (2018). Self-sufficiency ratio: an insufficient metric for domestic pv-battery systems? *Energy procedia*, 151:150–157.
- Tiznado Palacios, G. R. (2014). Establecimiento de la línea base de huella de carbono de los estudiantes de la universidad de sonora. *Universidad de Sonora*.
- Toro Calderón, J., Martínez Prada, R., and Arrieta Loyo, G. (2013). Métodos de evaluación de impacto ambiental en colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2):43–53.
- Torres, L. R. C. and Cruz, L. A. R. (2020). El impacto social de las energías limpias en comunidades vulnerables. la energía eólica en la comunidad zapoteca de juchitán de zaragoza, oaxaca. *Ambiente y Desarrollo*, 24(46):1–18.
- UPME, B. I. et al. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en colombia. *Ministerio de Minas y Energía de Colombia*.
- Viveros, C. A. N., Hidalgo, G. J. G., and Vera, G. B. (2013). Diseño metodológico de la evaluación de proyectos energéticos bajo incertidumbre en precios: caso de cogeneración de energía en una empresa en cali. *Estudios Gerenciales*, 29(126):58–71.

