

Modelo para medir el impacto socioeconómico y ambiental en proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas en Colombia



Edwin Blasnilo Rua Ramírez
Gonzalo Guillermo Moreno Contreras
Rafael Bolívar León



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



Modelo para medir el impacto socioeconómico y ambiental en proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas en Colombia

Autores: Edwin Blasnilo Rúa Ramírez, Gonzalo Guillermo Moreno Contreras,
Rafael Bolívar León

Tamaño: 17 x 24 cm

Páginas: 178

ISBN: 978-628-7603-46-2

Comité editorial

Fr. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector

Fr. José Gregorio HERNÁNDEZ TARAZONA, O.P.

Vicerrector Académico

Fr. Héctor Mauricio VARGAS RODRÍGUEZ, O.P.

Vicerrector Administrativo y Financiero

María Ximena ARIZA GARCÍA

Directora Ediciones Usta Tunja

Sandra Consuelo DÍAZ BELLO

Directora Investigación e Innovación

Juan Carlos CANOLES VÁSQUEZ

Director Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación

Primera edición, 2022

ISBN: 978-628-7603-44-8

Corrección de Estilo:

Fr. Ángel María BELTRÁN NARANJO, O.P.

Diagramación e impresión:

Búhos Editores Ltda.

Tunja - Boyacá

Todos los derechos reservados conforme a la ley. Se permite la reproducción citando fuente.

El pensamiento que se expresa en esta obra, es exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete la ideología de la Universidad Santo Tomás.



Ediciones Usta Universidad Santo Tomás

2022

Departamento Ediciones Usta Tunja

Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja

Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente por fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo.

Ley 23 de 1982.

Biografía Autores

EDWIN BLASNILO RUA RAMIREZ

Ingeniero Mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander – Colombia (2003), Magíster oficial en Investigación Termodinámica de Fluidos, universidad Rovira i Virgili España (2010), Magíster en Gerencia de Empresas Mención Industria UNET Venezuela (2012), Doctorado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Barcelona (2021-2024).



Docente Universitario desde el año 2006 al 2016 en unipamplona y UNAD Yopal, desde el año 2017 en la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja de Colombia, como

docente, Decano académico de la facultad de ingeniería mecánica y actualmente editor de la revista Científica Ingenio Magno.

Investigador académico desde el año 2014 en proyectos con impacto social, ambiental y agrícola en temas relacionados con la ingeniería mecánica y energías renovables, Categorizado por Minciencias como Investigador Asociado.

GONZALO GUILLERMO MORENO CONTRERAS

Ingeniero Mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander – Colombia (1999), Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes – Colombia (2004) y Doctor en Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Santa Catarina – Brasil (2017).



En la actualidad soy docente titular del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Pamplona – Colombia, y docente del Programa de Maestría en Ingeniería de la Universidad Santo Tomás en Tunja – Colombia, actúo en las siguientes áreas: estática y dinámica de sistemas mecánicos con énfasis en diseño de mecanismos.

RAFAEL BOLIVAR LEON

Ingeniero Metalúrgico de la Universidad Industrial de Santander (UIS) – Colombia (2000), Magíster en Ingeniería Metalúrgica (UIS) (2003), Doctor en Ingeniería de la RWTH-Aachen - Alemania (2019).



Profesor titular Universitario desde el año 2003 a la fecha del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Pamplona – Colombia, docente en maestrías de ingeniería, economía y administración.

Investigador asociado en Colciencias 2022 en áreas de investigación de procesos metalúrgicos y reciclaje, selección de materiales, materiales compuestos.

Lista de abreviaturas o acronimos

BID	Banco Iberoamericano de Desarrollo
CEGAS	Centro de Gestión Ambiental y Social del IPSE.
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
DNP	Departamento Nacional de Planeación.
EREE	Energías Renovables y Eficiencia Energética
ESF	Energía Solar Fotovoltaica
FNCE	Fuentes no convencionales de energía
GEI	Gases Efecto Invernadero
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IPSE	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
MIER	Matriz de Evaluación de Impacto Rápido
SGIC-FNCE	Sistema de gestión y conocimiento en fuentes no convencionales de energía
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética.
ZNI	Zonas no Interconectadas

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	13
INTRODUCCIÓN.....	15
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.1 Justificación de la investigación.....	24
1.2 Problema de investigación	26
1.3 Objetivo general y objetivos específicos.....	32
2. REVISIÓN DE LITERATURA	34
2.1 Modelos para evaluación de impactos:.....	34
2.2 Marco conceptual:	47
2.3 Impactos social, económico y ambiental.	50
2.4 Proyectos de Sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas.	54
2.5 Caso Hato Corozal, Casanare, Colombia.	58
2.6 IPSE. Procedimiento proyectos de inversión.	65

3.	INVESTIGACIONES PRECEDENTES.....	72
3.1	Tesis doctoral en Barcelona, España.....	72
3.2	Tesis de maestría en Madrid España.....	74
3.3	Tesis doctoral Madrid España.	76
3.4	Tesis de grado en Colombia.....	77
3.5	Artículo de investigación.....	78
3.6	Marco legal.....	79
4.	METODOLOGÍA.....	81
4.1	Introducción.....	81
4.2	Diseño de la investigación.....	82
4.3	Población y muestra.....	83
4.4	Variables.....	84
4.5	Instrumento/s de investigación.....	87
4.6	Análisis de los datos.....	87
5.	RESULTADOS.....	99
5.1	Análisis Descriptivo.....	99
5.2	Análisis de variables de empoderamiento.....	103
5.3	Análisis factor 1: impacto o dimensión económica.....	107
5.4	Análisis factor 2: impacto o dimensión social.....	108
5.5	Factor 3: impacto o dimensión ambiental.....	110
5.6	Análisis multivariado de impacto económico, ambiental y social.....	112
6.	CONCLUSIONES Y LIMITACIONES.....	138
6.1	Conclusiones:.....	138
6.2	Limitaciones:.....	142
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1.	Hato Corozal, Casanare, Colombia.....	28
Ilustración 2.	Árbol de Jerárquicas Analíticas	40
Ilustración 3.	Los cinco pasos de la medición de impacto social	41
Ilustración 4.	Teoría general de sistemas.....	43
Ilustración 5.	Ciclo de proyectos de inversión pública.....	46
Ilustración 6.	Hato Corozal en Colombia.....	50
Ilustración 7.	Mapa Veredas Hato Corozal-Casanare.....	59
Ilustración 8.	Presentación programa IPSE.....	60
Ilustración 9.	Flujograma del procedimiento proyectos de inversión.	63

Ilustración 10. Clasificación de los modelos de elección discreta	66
Ilustración 11. Distribución para la muestra según el género y el nivel de escolaridad	99
Ilustración 12. Distribución de la muestra según el estado civil	100
Ilustración 13. Distribución para tipo de medio de combustión al cocinar y el medio de iluminación del hogar	102
Ilustración 14. Distribución para el tipo de actividades ejecutadas en pro del empoderamiento del método de energía implementado (paneles solares).....	103
Ilustración 15. Coeficiente de Spearman para variables de empoderamiento	104
Ilustración 16. Coeficiente de Spearman para variables, factor de impacto económico	105
Ilustración 17. Coeficiente de Spearman para variables, factor impacto social	107
Ilustración 18. Coeficiente de Spearman para variables, factor impacto ambiental	109
Ilustración 19. Coeficiente de Spearman para variables, factor impacto ambiental	111

Resumen

A través de este proyecto se elabora un modelo para evaluar los impactos social, económico y ambiental de proyectos de generación de energía solar fotovoltaica para viviendas rurales aisladas, tomando como prototipo un proyecto de electrificación solar en el municipio Hato Corozal, departamento Casanare, Colombia. Como producto de este proyecto se desarrolla un modelo para herramienta en software computacional que permita realizar la evaluación de estos impactos de forma sistemática y metodológica, teniendo en cuenta todas las variables generales de cada impacto y las condiciones propias de cada proyecto, de acuerdo a su ubicación, tamaño del proyecto, entre otros. El proyecto de inversión social implementado en Hato Corozal, se encaminó en mejorar la calidad de vida de 80 familias y además promover el desarrollo económico rural del departamento. Con base en este caso se identificaron todas las variables involucradas medibles en cada impacto y

los factores externos implicados. Esta investigación tiene un enfoque metodológico descriptivo y aplicado de campo, se incluye visita a las viviendas rurales, aplicación y análisis de instrumentos, registro fotográfico, georreferenciación con tecnologías GPS, entrevista a expertos y observación directa. Para la validación de este trabajo de investigación, se acogió la intervención de expertos del IPSE, (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas) también actuaron expertos en el campo de la electrificación solar fotovoltaica como posibles usuarios de la herramienta de evaluación, y por último los ingenieros que realizaron la instalación de la electrificación en Hato Corozal, Casanare. Se validó el modelo a través de un proyecto de electrificación solar fotovoltaica de 100 viviendas ejecutado en Hato Corozal por el IPSE. Este es un gran aporte, innovador y de interés para las entidades gubernamentales y privadas implicadas en esta clase de proyectos energéticos.

Palabras Clave: Modelo de evaluación del impacto, Impactos social, económico y ambiental, sistemas solares fotovoltaicos, Viviendas aisladas, Hato Corozal, Casanare.

Abstract

Through this project, a model is developed to evaluate the social, economic and environmental impacts of photovoltaic solar energy generation projects for isolated rural homes, taking as a prototype a solar electrification project in the municipality of Hato Corozal, Casanare department, Colombia. As a product of this project, a model for a computer software tool is developed that allows the evaluation of these impacts in a systematic and methodological way, taking into account all the general variables of each impact and the conditions of each project, according to its location, size of the project, among others. The social investment project implemented in Hato Corozal, aimed at improving the quality of life of 206 families and also promoting the rural economic development of the department. Based on this case, all the measurable variables involved in each impact and the external factors involved were identified. This research has a descriptive and applied

field methodological approach, including visits to rural homes, application and analysis of instruments, photographic registration, georeferencing with GPS technologies, interviewing experts and direct observation. For the validation of this research work, the intervention of experts from the IPSE was welcomed, (Institute for Planning and Promotion of Energy Solutions for Non-Interconnected Areas) also ~~acted~~ experts in the field of photovoltaic solar electrification intervened as possible users of the tool of evaluation, and finally the engineers who made the installation of the electrification in Hato Corozal, Casanare. The model was validated through a photovoltaic solar electrification project of 100 homes executed in Hato Corozal by the IPSE. This is a great contribution, innovative and of interest to the governmental and private entities involved in this type of energy projects.

Keywords: Impact evaluation model, Social, economic and environmental impacts, solar photovoltaic systems, isolated dwellings, Hato Corozal, Casanare.

Introducción

La electrificación con sistemas fotovoltaicos es ampliamente utilizada para el sector rural, esto se debe al alto costo de generación dado primariamente por el precio de los combustibles, y en segundo lugar por el alto costo en el funcionamiento y el mantenimiento de la infraestructura instalada en estas zonas, esto hace que los sistemas de electrificación con energía solar fotovoltaica (ESF) sean más económicos en el largo plazo. En Colombia, los primeros sistemas de generación de energía apoyados en ESF llegaron en los años 80 como apoyo a los sistemas de telecomunicaciones instalados en zonas de difícil acceso, la capacidad de estos sistemas de ESF era bastante pequeña, cerca de 60 Wp (Wp: vatio pico), energía suficiente para suplir la demanda de los equipos instalados (Rodríguez, 2008).

La demanda de energía eléctrica enfocada para el desarrollo socio-económico y generar bienestar a través de calidad de vida de las personas se ha incrementado. En esta sentido, toda

comunidad, para suplir sus necesidades básicas y de producción requiere de servicios energéticos de calidad y constantes en el tiempo, ya que esto garantizará una mejor calidad de vida de sus integrantes. En la actualidad, en el mundo las principales fuentes de energía usadas son dadas a partir de la generación energética con recursos no renovables, estos procesos en su mayoría generan altos niveles de contaminación del medio ambiente. Por lo tanto, los sistemas apoyados en fuentes renovables para la generación de energía son una solución a corto plazo para reducir las emisiones de CO₂, sin afectar el medio ambiente y las personas.

Sin embargo, de acuerdo con Hernández y Ramírez (2019), en sistemas de generación solar se debe considerar que al aumentar de la temperatura en la superficie del panel fotovoltaico se ocasiona una reducción considerable en el voltaje de salida y por lo tanto también se reduce la potencia y la eficiencia energética del módulo. Las variaciones de los ángulos de inclinación tienen gran importancia para la eficiencia en la generación eléctrica de los paneles solares fotovoltaicos.

Por otro lado, de acuerdo con UPME (2015), Colombia cuenta con un recurso solar valorado en una irradiación promedio de 4,5 kWh/m² /d, valor superior al reportado como promedio a nivel mundial de irradiación, el cual está valorado en 3,9 kWh/m²/d, adicionalmente es muy aceptable si se compara con el reportado por Alemania (3,0 kWh/m²/d), uno de los países líderes a nivel mundial en la generación de energía apoyada en paneles solares fotovoltaicos, de acuerdo

con REN21 (2014) para el año 2013 se reporta una capacidad instalada aproximadamente de 36 GW.

La ESF es catalogada como una fuente de origen renovable, la cual por intermedio de un dispositivo semiconductor denominado célula o celda fotovoltaica, transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, y como prueba piloto para poner en práctica la metodología descrita, Reinaldo Avella, director de Asuntos Energéticos de la Secretaría de Obras Públicas y Transporte, explica las características del proyecto a ser implementado en el departamento de Casanare: “A cada vivienda de las seleccionadas en la zona rural perteneciente al municipio de Hato Corozal en jurisdicción del Departamento de Casanare se le instalará un sistema de energía apoyado en ESF que está compuesto por 6 paneles solares con una capacidad de 185 vatios cada uno para un total de 1.110 vatios por sistema. La energía generada por estos paneles es posteriormente almacenada en cuatro baterías de 200 amperios hora C/U a 12 voltios, esta energía permitirá suplir la demanda dada por el uso de electrodomésticos, así como proporcionará la energía para la iluminación de cada una de las viviendas”.

La generación de energía eléctrica apoyada en paneles solares fotovoltaicos se ha convertido en una excelente alternativa para las casas ubicadas en zonas rurales ubicadas muy distantes de la red eléctrica, sin embargo, y como punto negativo, se ha detectado que todos los proyectos que se han desarrollado a través del IPSE no han alcanzado los impactos

socio-económicos, ambientales y de empoderamiento esperados, es por esto que para el IPSE desarrollar un modelo o herramienta que logre predecir (ex ante) los impactos a generarse, o realizar una evaluación ex post, es una gran alternativa e instrumento de aprobación ante las convocatorias a nivel nacional. Como antecedentes a este proyecto se tiene el trabajo desarrollado por Sáñez (2013), el cual evaluó cómo los proyectos de energías renovables y su eficiencia impactan en el desarrollo humano de las comunidades. La metodología propuesta está enfocada en un conjunto de indicadores, los cuales examinan los potenciales impactos que proyectos de Energías Renovables y Eficiencia Energética (EREE) puedan llegar a tener sobre las condiciones de vida de las comunidades en las cuales se ponen en funcionamiento estos sistemas. Los indicadores de esta metodología están asociados por criterios, los cuales a su vez se encuentran asociados a cuatro principios (o dimensiones), que sellan el objetivo y el propósito del modelo implementado: Económico, Social, Ambiental y de Empoderamiento. Del análisis realizado de ocho proyectos puestos en funcionamiento en Senegal se pudo identificar algunos factores que son importantes a tener en cuenta para que futuros proyectos sean exitosos y generen importantes contribuciones al desarrollo humano de las poblaciones en las cuales se implementaron. La metodología de evaluación y los casos de estudio presentados en el proyecto intentan realizar su aporte para optimizar la contribución de los proyectos de EREE al desarrollo humano, y pueden ser útil para empresas, ONG y administraciones públicas implicadas en el uso de la Energía y en países en desarrollo.

Fernández (2014) en su investigación, toma 5 referencias en las cuales relaciona la lucha contra el cambio climático y la lucha contra la pobreza como bases de sus propuesta, de esta forma aplica una innovadora metodología para evaluar las contribución de los MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio) al desarrollo Humano. Este proyecto propone una metodología para medir los co-beneficios que originan los MDL en los países receptores, con un enfoque de Desarrollo Humano. Esta metodología intenta medir el desarrollo al nivel local, y es concurrente con otras metodologías que se han desarrollado a nivel nacional e internacional (Sutter, 2003). Además, a través de la aplicación de la metodología en casos de estudio en Brasil, se concluye sobre la necesidad de colocar precio al desarrollo sostenible que apoyan algunas de las discusiones que se llevan a cabo en el marco de definición del régimen Post-Kioto. La metodología S&E (del inglés Sustainability & Empowerment) es una herramienta flexible, basada en un sistema de principios, criterios e indicadores. Dado que existen herramientas diseñadas para medir el aporte al desarrollo a nivel global, y toman en consideración estudios previos que marcan la necesidad de encerrar el componente de desarrollo desde la etapa de diseño de los MDL para generar un desarrollo sostenible en las comunidades en las que se implementan estos proyectos (Sirohi, 2007; Boyd et al., 2007), como objetivo final se buscaba que la metodología manifestara los cambios en las condiciones de vida de la población antes y después de la existencia de los MDL; se seleccionó el paradigma de Desarrollo Humano como marco teórico sobre el que construir los indicadores.

Este proyecto presenta el análisis estadístico Multivariado del instrumento titulado “encuesta de intervención”, el cual fue aplicado a un total de 76 habitantes en Hato corozal

(Casanare) y cuyo objetivo general se centró en recolectar información útil en la construcción de un modelo que evalúa el impacto social, económico y ambiental de proyectos de sistemas a partir de paneles fotovoltaicos para viviendas ubicadas en zonas que por su localización no están conectadas a la red eléctrica nacional, la aplicación de este modelo permitió contribuir con la toma de decisiones óptimas en el contexto de estudio y su aplicación.

El proyecto de inversión social implementado en Hato Corozal, se enfocó en mejorar las condiciones en la calidad de vida de 80 familias ubicadas en la zona rural del municipio, promoviendo a su vez el desarrollo económico rural del departamento de Casanare. Teniendo en cuenta este objetivo se diseñó un instrumento de recolección de información con 73 preguntas, es así como se define, codifica e identifican, los grupos de variables que aportan a cada modelo. Aquí vale la pena clarificar que un modelo de tipo estadístico es una ecuación matemática usada para codificar información extraída de los datos, en este caso se usó un modelo de regresión logística el cual se puede definir como una estadística para clasificar las búsquedas en función de los valores de campos de entrada, es análoga a la regresión lineal.

El análisis involucra la implementación de variable de tipo cuantitativo y cualitativo, el cual se divide en tres etapas, la primera de estas etapas corresponde al análisis descriptivo de las variables, la segunda corresponde a la explicación referente con la importancia del empoderamiento de la comunidad en la implementación de este tipo de energía, y por último, la tercera etapa se refiere a la construcción de cada modelo de impacto mediante técnicas de análisis multivariado.

1. Planteamiento de la investigación

Actualmente en Colombia no existe un modelo o herramienta que permita evaluar los impactos social, económico y ambiental de proyectos de electrificación basados en la instalación de sistemas con ESF. Como indica el Banco Iberoamericano de Desarrollo - BID "Según el Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia desarrollado por Corpoema (2010), entre los más destacados problemas presentes en Colombia para la formulación de políticas orientadas a promover el desarrollo de las energías renovables, se tiene la falta de un diagnóstico objetivo en materia de disponibilidad y uso de estas fuentes de energía en el ámbito nacional, adicionalmente, las restricciones comprobadas en la información existente sobre la materia. Entre los años 2009 a 2010, la UPME creó un sistema denominado el SGIC-FNCE (Sistema de gestión y conocimiento en fuentes no convencionales de energía) como una plataforma virtual que cuenta con la participación de las personas que trabajan en

este campo para recopilar información que permita obtener un diagnóstico real de las FNCE en Colombia y así facilitar la coordinación eficiente que se debe dar entre los diversos presentes en el desarrollo de proyectos e iniciativas para el aprovechamiento de estas fuentes de energía”.

Se denomina impacto dado por un proyecto a la contribución significativa al logro de un plan Fin/Propósito (matriz de Marco Lógico), el cual es una dificultad del sector, y representa un conjunto de cambios persistentes en la sociedad, la ciencia, la economía, la tecnología y el medio ambiente que progresa o imposibilita el crecimiento de sus indicadores, como resultado de la realización de acciones orientadas a la Investigación desarrollo-innovación efectuadas en los tópicos de la estructura organizacional de un proyecto, y su sinergia con otros aportes de proyectos u otros trabajos de tipo administrativos, etcétera. La responsabilidad dada al logro obtenido al conseguir el propósito está fuera del alcance de la gerencia del proyecto, como se señaló, 3 tipos de evaluaciones se pueden realizar al término del proyecto, las cuales son designadas como evaluación a posteriori (aplicada 6 meses después de concluido el proyecto), la evaluación ex-post (aplicada de 1 a 2 años después de concluido el proyecto) y la evaluación de impacto (aplicada de 3 a 5 años después de concluido el proyecto) (Rodríguez y Cobas, 2012).

Para la evaluación de impactos se aplican métodos cualitativos y cuantitativos, los cuales no son métodos excluyentes y se suelen utilizar de forma combinada, dependiendo de las particularidades del programa a evaluar.

En este sentido, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) indica que: La matriz de marco lógico o también denominada matriz de indicadores es catalogada como una herramienta de planeación, la cual establece con claridad los objetivos de un programa, reúne los indicadores que miden estos objetivos y los resultados esperados; identifica los medios para obtener y verificar la información de los indicadores e incluye los riesgos y contingencias que pueden afectar el desempeño del programa (Coneval, 2013).

Existen diversas metodologías para la evaluación de impactos, a continuación se indican algunos métodos: (Arias y Torres, 2017).

- ❖ El juicio de expertos
- ❖ Modelos físicos y matemáticos cuantitativos
- ❖ Matrices y diagramas de interacción
- ❖ La evaluación del impacto acumulativo
- ❖ La Matriz de Evaluación de Impacto Rápido (MEIR)
- ❖ El Sistema de Evaluación Ambiental de Battelle

De acuerdo a los tipos de proyectos de generación fotovoltaica que se implementan en Colombia, con el apoyo de ingenieros expertos del IPSE. Se analizará y seleccionará la metodología de evaluación de impactos más relevante y apropiada.

1.1 Justificación de la investigación

Este modelo de evaluación de impactos y su herramienta computacional es de gran utilidad para el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), en proyectos desarrollados en las zonas no interconectadas (ZNI), específicamente para proyectos del tipo que se dan a partir de la ESF. El IPSE a través del Centro de Gestión Ambiental y Social (CEGAS) actualmente recolecta, organiza y analiza información socio-económica y ambiental de las comunidades ubicadas en las ZNI, a través de herramientas de captación de información primaria y secundaria, con el fin de caracterizar a dichas poblaciones.

Una de las variables o condiciones especiales que tiene nuestro territorio nacional es el conflicto armado, organizado por grupos guerrilleros, paramilitares y bandas criminales (ELN, Disidentes de las FARC, Águilas negras, Bacrim, Rastrojos, entre otros) grupos que delinquen mayormente en el sector rural, zonas donde no llega la electricidad, no cuentan con medios de comunicación y son la población más vulnerable del país.

El primer objetivo de este trabajo consiste en identificar las variables a evaluar en los impactos social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas en Colombia, teniendo en cuenta que nuestro país cuenta con una gran biodiversidad y unas condiciones climáticas variadas. “El clima que se da en

Colombia se encuentra determinado por aspectos ambientales, geográficos y atmosféricos, como lo son las precipitaciones, intensidad de estas, la radiación solar, la temperatura ambiente, el sistema de vientos, la latitud, la altitud y humedad atmosférica de cada subregión del territorio nacional” (Arango, 2008), entre las variables sociales se encuentran la educación, salud, igualdad de género, seguridad social, vivienda, pobreza, orden público, entre otros; desde el impacto económico se encuentra la productividad, el empleo, la inversión, la tasa de retorno, etc.

Proyectos anteriores han mostrado que existe un bienestar en relación con la electricidad, Mohajer y Göras (2016) en su tesis de maestría afirma que “Existe una fuerte compatibilidad positiva entre el consumo de energía y el desarrollo humano, cuyo índice es bastante favorable para países en desarrollo”, sin embargo, se considera que se deben realizar evaluaciones a posteriori (6 meses después de haberse concluido el proyecto), la evaluación ex-post (se debe realizar de 1 a 2 años después de concluido el proyecto) y la evaluación de impacto (se debe realizar de 3 a 5 años después de concluido el proyecto) en diferentes regiones para identificar los pros y los contras de acuerdo a las variables propias de la localidad.

El segundo objetivo específico es elaborar un modelo matemático y/o estadístico que permita evaluar ex ante y ex post, los impactos social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas. Apoyados en un software de análisis estadístico tipo SPSS o Stata.

El tercer objetivo es elaborar una herramienta en software computacional que permita evaluar sistemáticamente los impactos social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas, de esta manera se hará la evaluación de impactos rápidamente y así mismo un análisis de los datos arrojados. Con el apoyo del IPSE se escogerá la herramienta más adecuada. “El algoritmo evolutivo puede resolver con eficiencia problemas de tamaño real en las grandes organizaciones públicas, a nivel de toda la institución o, en todo caso, a nivel de área de conocimiento” (Fernández, 2004).

El cuarto objetivo es la validación del modelo de evaluación de impactos social, económico y ambiental tomando como prototipo el proyecto de Hato Corozal, Casanare, Colombia. En esta etapa se aplicará la validez de constructo para medir la confiabilidad del modelo y herramienta. Indica Pérez et al., (2000) la validez de constructo es el primordial de los tipos de validez, en tanto que la validez de constructo es la concepción unificadora que integra las consideraciones de validez de contenido y de criterio en un marco común para probar hipótesis acerca de relaciones teóricamente relevantes».

1.2 Problema de investigación

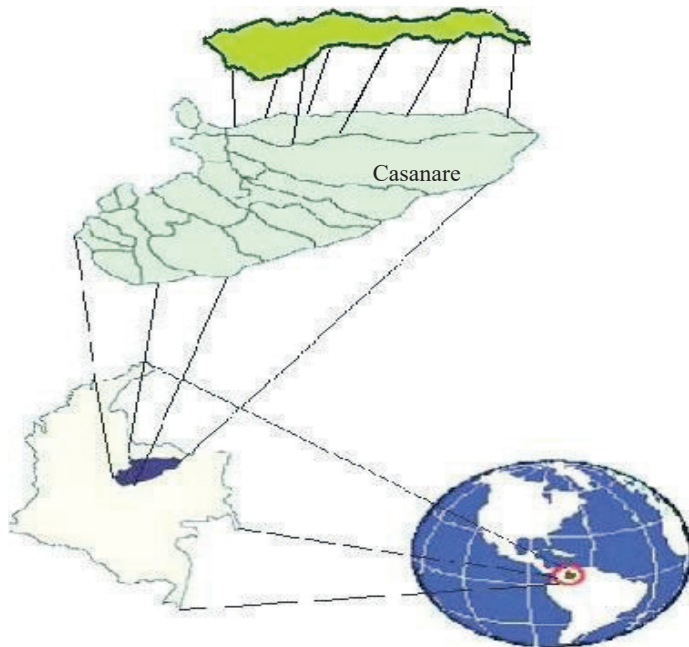
La falta del suministro de energía eléctrica en el departamento de Casanare es considerada como una de las principales problemáticas del sector rural, más aún cuando

ésta se cataloga como una necesidad básica no satisfecha y que por las altas de temperaturas de la región no puede verse ahora como un servicio no necesario. El departamento en su totalidad y los diecinueve municipios que lo conforman son la muestra palpable de dispersión y que dificulta la cobertura de servicios públicos mínimos y básicos a los cuales debe tener derecho la población

Hato Corozal es un municipio con una gran extensión de tierra, se encuentra situado en el departamento del Casanare en Colombia (Ilustración 1). Al año 2015 el 47% de la población vivía en zona rural (Casanare, 2012). Las viviendas o fincas se encuentran en veredas, distanciadas entre sí, por kilómetros de distancia, lo que hace muy costoso pensar en llevar la electricidad por cableado o redes.

“La generación y distribución de la energía eléctrica en Colombia depende en gran parte del Sistema de Interconexión Nacional (SIN) y de diferentes sistemas aislados que suplen las demandas en las zonas que no están conectadas al sistema nacional. El SIN corresponde a la tercera parte del territorio nacional y en la actualidad cubre el 96% de la población. El sistema correspondiente a las zonas no interconectadas cubre cerca de las dos terceras partes restantes del territorio nacional y provee su servicio de energía a cerca del 4% de la población. En 2005, el sistema de interconexión eléctrica proporcionaba el servicio de conexión a cerca del 87% de la población nacional, un porcentaje menor al promedio dado en Latinoamérica y el Caribe (LAC) que alcanza el 95% de la población. En Colombia, la cobertura eléctrica alcanza cerca del 93 % en las áreas urbanas y cerca de un 55 % en las áreas rurales. En este sentido, se cree que cerca de 2,3 millones de

personas no cuentan con acceso al servicio de electricidad. Adicionalmente, las zonas que se encuentran fuera del sistema interconectado se plantean circunstancias de electrificación especialmente difíciles con capacidad instalada basada exclusivamente en diésel (el cual es muy variable su costo y transporte a la zona donde se ubica el sistema), además, el 80% de la capacidad instalada se encuentra en plantas con una generación inferior a 100 kW”, (Castillo y Velandia, 2018).



*Ilustración 1. Hato Corozal, Casanare, Colombia.
Fuente: Casanare (2016)*

Como alternativa de solución, desde un enfoque de desarrollo sostenible y como estrategia empresa-universidad se busca medir el impacto que se genera al instalar un sistema solar fotovoltaico en ochenta viviendas ubicadas en la zona

rural del municipio de Hato Corozal, este sistema, de acuerdo con la Asociación Europea de Industrias Fotovoltaicas (EPIA) podría ser una alternativa sostenible y sustentable.

Siendo la tecnología de celdas fotovoltaicas una alternativa de solución a la problemática ambiental, de cobertura y dispersión, así como un modelo de innovación y desarrollo que traducido a términos generales puede resultar en progreso para el departamento, se busca medir su impacto y que este sea reconocido a nivel nacional como un proyecto pionero que pueda ser replicado e implementado en otras regiones del país. El rendimiento de un módulo fotovoltaico (PV) depende de las condiciones reales de funcionamiento, como la radiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento, además de las tecnologías de módulos solares. Indica Rúa et al, (2021) que el rendimiento de un módulo fotovoltaico se ve condicionado a los valores reales de funcionamiento, como radiación solar, temperatura ambiente y la velocidad del viento, además de las tecnologías de los módulos solares. De acuerdo con Rúa et. al., (2019). Es de vital importancia identificar la topografía y brillo solar del sitio, con el fin de optimizar la posición, especialmente el ángulo respecto al sol, de los paneles solares, con el fin de potencializar la captación de radiación.

En este sentido, Rúa et al., (2017) indica que cerca del 100% de la población beneficiada pertenecen al estrato 1, las cuales disponen de su vivienda para uso residencial, en las cuales predominan la agricultura y ganadería como base de su sustento, por otro lado, los autores también indican que

en esta población el 93% del agua para el consumo humano se extrae con bomba de pozos profundos. En su mayoría, las casas analizadas, cuentan, tienen piso de tierra o cemento, algunas dotadas con techos de zinc y otras de techo en palma, además, el 30% de las viviendas analizadas no tienen baño, las restantes tienen inodoros con pozo séptico, no existe alcantarillado de aguas residuales ni aguas lluvias, y por último se detectó que el 83% de los posibles beneficiarios usan velas y linternas para la iluminación.

Todo esto ha llevado a catalogar a la población rural de Hato Corozal como una comunidad que vive en situación vulnerable de higiene y salud, la cual no cuenta con medios de comunicación telefónica, ni medios de transporte público, y mucho menos con servicios básicos como electricidad, agua y gas natural. Lo que les lleva a vivir en condiciones bastante limitadas, con alto riesgo para su salud, baja esperanza de desarrollo económico y un nivel de calidad de vida bastante bajo.

Es por todas estas razones que se ha determinado que el servicio de energía eléctrica es un excelente indicador de la calidad de vida en una determinada comunidad, según lo observado en algunas zonas rurales del territorio ecuatoriano, y su potencial participación en las dinámicas económicas y sociales de sus comunidades. Sin embargo, esta realidad usualmente pasa desapercibida para todos aquellos que siempre han contado con acceso a la energía eléctrica, es innegable que las comunidades rurales requieren mejorar su acceso al servicio eléctrico, para reducir la pobreza y mejorar sus condiciones de vida. El uso de la electricidad en

las poblaciones rurales facilita el acceso a otros servicios como el alumbrado público, el agua potable, los centros de salud, los equipamientos educativos, las comunicaciones, etc. La disponibilidad de los servicios provoca cambios en las formas de vida de la población local, y significan un aumento en las posibilidades y oportunidades de la población (Vicuña y Pizarro, 2015).

Es usual pensar en el área rural como un lugar donde la población suele tener una menor calidad de vida en comparación con los habitantes de las zonas urbanas, entre otros aspectos, dados por las diferencias en la prestación y el abastecimiento de los servicios básicos. Este hecho ha generado históricamente una alta migratorios del campo a la ciudad, lo cual a su vez también ha generado una alta brecha de pobreza entre el medio urbano y el rural (Collantes et al., 2014).

Instituciones como el Banco Mundial o la Organización de Naciones Unidas (ONU) resaltan el acceso a los mercados energéticos modernos como una herramienta más, para la disminución de la pobreza y el avance en la mejora de las condiciones de vida de la población mundial. El acceso a la Electrificación ha sido una constante preocupación en los países en vías de desarrollo, tanto para los gobiernos como para los sitios rurales, que ven disminuidas sus posibilidades de desarrollo por falta de oportunidades socio-económicas (World Energy Council, 2006).

Para el año 2030, la ONU ha indicado que, se debe garantizar a nivel mundial el servicio de energía, y que este debería ser accesible, eficientes y de nueva tecnología. Para lograr

este compromiso, Colombia enfrenta un reto importante: la electrificación de las colectividades rurales aisladas. En la mayor parte de los países, la estrategia usual para dar acceso a la electricidad se enfoca en aumentar la red eléctrica y llevarla hasta las zonas rurales. Unas de las excelentes respuestas son los sistemas aislados a la red, los calefactores, las cocinas solares y los sistemas que funcionan con energía eólica se presentan como buenas opciones de solución, ya que no necesitan de una red convencional (Twenergy, 2017).

1.3 Objetivo general y objetivos específicos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo que permita evaluar los impactos social, económico y ambiental de proyectos que provean energía por medio de sistemas solares fotovoltaicos a viviendas ubicadas en zonas que no están interconectadas con la red nacional. Caso Hato Corozal, Casanare en Colombia.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar, identificar y definir las variables y condicionantes a evaluar en los impactos social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas.

2. Diseñar un modelo matemático y/o estadístico que permita evaluar los impactos social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas.
3. Construir un modelo matemático como herramienta de software computacional que permita evaluar sistemáticamente los impactos social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas.
4. Validar el modelo de evaluación de impactos social, económico y ambiental tomando como prototipo el proyecto de Hato Corozal, Casanare, Colombia.

2. Revisión de literatura

2.1 Modelos para evaluación de impactos:

Los modelos para evaluación de impactos se consideran en términos generales, como una representación de la realidad, en la cual se hace una explicación de un fenómeno, ideal que permita imitarse, arquetipo o prototipo (Caracheo, 2002). Los modelos se pueden expresar de modo físico, lingüístico, simbólico o matemático. Desde la representación epistemológica se clasifican en cinco tipos dependiendo del grado de formalización o abstracción; a saber: icónicos, analógicos, tipológicos, simbólicos y matemáticos (Villaplana, 2013).

Arias y Torres (2017), indica que en la evaluación de impacto se usan métodos cuantitativos y cualitativos, no son metodologías excluyentes y se suelen usar en forma mezclada,

dependiendo de las tipologías del programa a evaluar, del tipo de participantes y del enfoque de evaluación trazado.

2.1.1 Modelos logit y probit para respuesta binaria

El modelo de probabilidad lineal es simple de estimar y utilizar, pero tiene ciertas desventajas, las dos más importantes son que las probabilidades ajustadas pueden ser menores que cero o mayores que uno y el efecto parcial de cualquier variable explicativa es constante. Estas restricciones del MPL se pueden superar si se utilizan modelos de respuesta binaria más sofisticados. En un modelo de respuesta binaria, el interés descansa máximamente en la probabilidad de respuesta (Ec. 1),

$$P(y = 1|X) = P(y = 1|x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (1)$$

donde (x) indica el conjunto de variables explicativas. Por ejemplo, cuando (y) es un indicador del empleo, (x) podría tener varias particularidades propias como la educación, estado civil, edad y otros factores que afectan el curso del empleo, incluyendo una variable de indicador binario para la intervención en un nuevo programa de empleo y el conjunto total de variables explicativas. Por ejemplo, cuando y es un indicador del empleo, x podría contener varias características

individuales como la educación, edad, estado civil y otros factores que afectan el estado del empleo, incluida una variable de indicador binario para la participación en un reciente programa de empleo.

I. Especificación de modelos logit y probit

En el MPL, la probabilidad de respuesta es lineal en un grupo de parámetros, β ; Para impedir las limitaciones del MPL, se puede considerar una variedad de modelos de respuesta binaria del modo, como se indica en la Ec. 2.,

$$P(y = 1 | X) = G(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k) = G(\beta_0 + x\beta) \quad (2)$$

donde G es una función que toma valores rigurosamente entre cero y uno: $0 < G(z) < 1$, para todos los números reales z . Esto asegura que las probabilidades de respuesta sean estrictamente entre cero y uno se escribe que $x\beta = \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$. Las dos que se estudian aquí se usan en la mayor parte de las aplicaciones (junto con el MPL). En el modelo logit, G es la función logística.

II. Estimación de los parámetros en los modelos Logit

Es necesario diferenciar la existencia de dos casos específicos que implican el uso de métodos de estimación

distintos: los modelos Logit con observaciones repetidas y con observaciones no repetidas.

En el caso sencillo de una sola variable explicativa, nos hallamos en una situación con observaciones periódicas cuando la variable X es discreta y muestra un número reducido de alternativas o intervalos (F), de modo que para cada alternativa de la variable X tendremos n_i observaciones de Y , logrando calcular las proporciones o probabilidades muestrales. En este caso la matriz de n datos muestrales queda reducida a F observaciones siendo los valores que tome la variable endógena (P_i) las proporciones muestrales calculadas a través de la siguiente expresión:

$$P_i = \sum_{i=1}^F \frac{Y_i}{n_i} \quad (3)$$

La generalidad del modelo a k variables explicativas involucra la presencia de observaciones repetidas de Y para cada combinación de las k variables explicativas, logrando calcular las proporciones o probabilidades muestrales de la misma manera que en el caso anterior. En este caso, si bien los valores de la variable endógena están acotados en el rango 0-1, son valores continuos, por ello el método utilizado para la apreciación de los parámetros del modelo es el que periódicamente se utiliza en la econometría tradicional que trabaja con variables continuas, (Moral, 2003)

III. Modelos con variable dependiente dicotómica (VDD)

En muchos contextos, el tópico que buscamos analizar no es continuo, sino discreto. Por ejemplo, cuando queremos modelar la participación del mercado de trabajo, el estado de pobreza de un Hogar, la decisión en una compra o no. En el caso de la situación de pobreza existen estudios que proponen factores como la educación, la edad, el número de hijos y ciertas características económicas, sociales, demográficas, entre otros; que podrían ser notables para explicar si un individuo jefe de hogar está más cerca a obtener la condición de pobreza. Pero, faltaría algo si se aplica en este caso el mismo tipo de modelo de regresión que utilizábamos para analizar otro caso de naturaleza cuantitativa, (Pucutay, 2002).

2.1.2 Matriz marco lógico o matriz de indicadores

Esta es una herramienta de planeación que en forma resumida y armónica establece de forma sencilla los objetivos de un programa, reúne los indicadores que miden dichos objetivos y sus resultados esperados; identifica los medios para alcanzar y comprobar la información de los indicadores y contiene los riesgos y contingencias que pueden afectar el desempeño del programa. Las filas de la matriz muestran información de cuatro diferentes niveles de objetivos llamados Fin, Propósito, Componentes y Actividades, mientras que las columnas registran la información sobre los objetivos del proyecto, los indicadores, las fuentes de información y los

factores externos o supuestos cuya ocurrencia es importante para el logro de los objetivos, ver ejemplo en la Tabla 1.

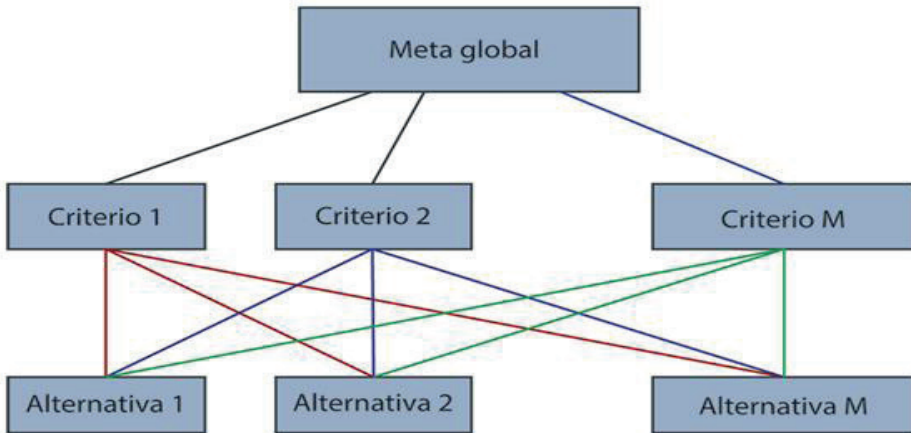
Tabla 1 - Matriz de marco lógico

Resumen	Indicadores	Verificadores	Supuestos
Fin	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
Propósito	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
Componentes	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
Actividades	Resumen presupuestal	Ejecución presupuestal	Supuestos

2.1.3 Modelo jerárquico Saaty:

El modelo de Análisis Jerárquico, creado por Saaty (2017) (Ilustración 2), está diseñado para solucionar problemas complejos de criterios múltiples. El proceso pretende que quien tome las decisiones suministre evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su favoritismo con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado es una jerarquización con prioridades que muestran

la predilección global para cada una de las alternativas de decisión.



*Ilustración 2. Árbol de Jerárquicas Analíticas
Fuente: (Saaty, 1987)*

2.1.4 Metodología iniciativa de medición de impacto – IMI

Es una guía práctica para la medición y gestión de impacto que tiene como objetivo ayudar tanto a inversores sociales y las organizaciones con fines sociales a medir y gestionar el impacto de manera más eficaz, como se puede observar en la Ilustración 3.



*Ilustración 3. Los cinco pasos de la medición de impacto social
Fuente: (EVPA-AEF, 2015)*

2.1.5 Teoría general de sistemas

La Teoría General de Sistemas permite analizar un sistema en forma general, posteriormente los subsistemas que los componen y las interrelaciones que existen entre sí, para cumplir un objetivo. Es una búsqueda de similitudes que admitan aplicar leyes idénticas a situaciones diferentes y que a su vez permitan encontrar características comunes en sistemas diversos. (Arias y Torres, 2017)

2.1.6 Modelos matemáticos para evaluación de impactos

Solucionar un problema real es complicado y más aún expresar el problema en forma clara. ¿Cómo solucionar un problema que no se comprende? Una manera de abordar un problema es la siguiente: primero, descubrir sus componentes, luego seleccionar los elementos más importantes, rechazando los que no tienen un papel predominante. Después, buscar las relaciones entre estos elementos. Por último, elegir algunos objetos o símbolos que permitan representar el contexto simplificado. A esta representación del problema se le denomina: modelo. (Ramírez, 1996).

Un modelo matemático representa teóricamente un objeto que está fuera del campo de las matemáticas. Las previsiones del tiempo y los pronósticos económicos, por ejemplo, están basados en modelos matemáticos.

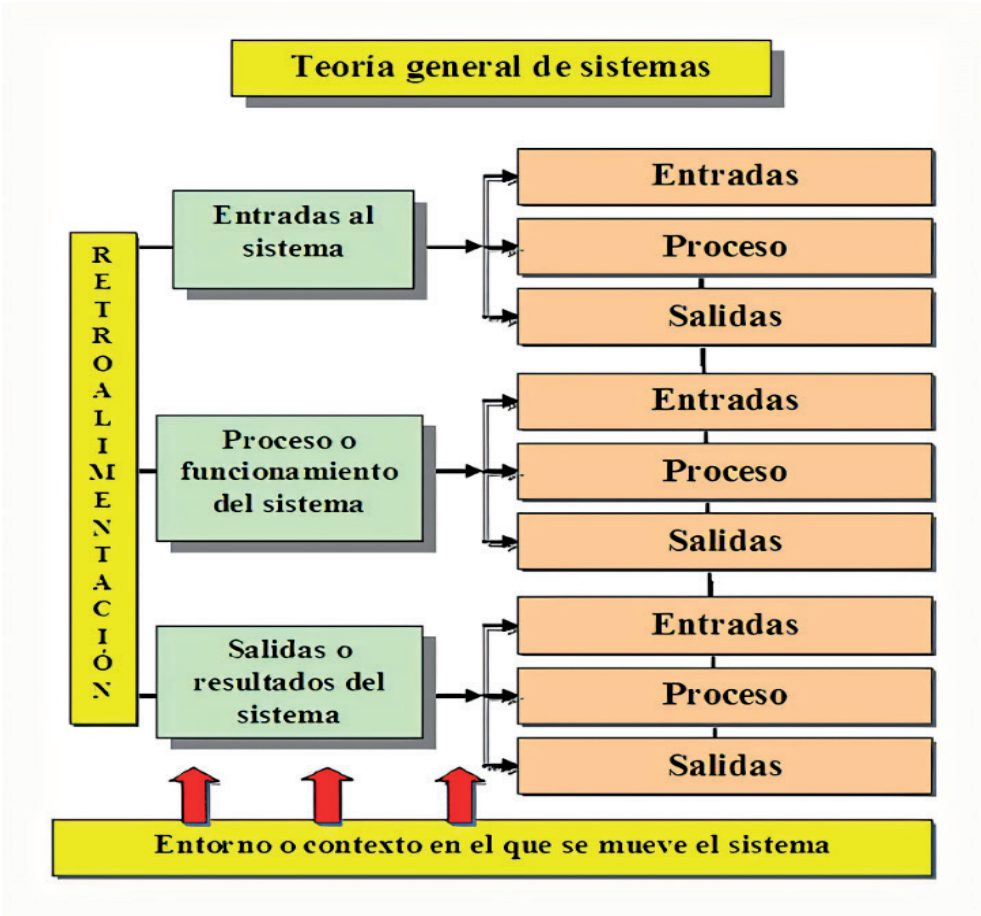


Ilustración 4. Teoría general de sistemas.

Fuente: <https://sites.google.com/site/ivangarciasanchez90/objetivos/gestion-tema-1/40>

Se puede decir que los modelos matemáticos son conjuntos con ciertas relaciones determinadas, que permiten la satisfacción de proposiciones que derivan de los axiomas teóricos. Para ello, se usan diversas herramientas, como son el álgebra lineal que, proporciona la fase de análisis, gracias a la representación gráfica de las distintas funciones.

También, con respecto al tipo de resultado pretendido, existen dos clasificaciones básicas:

- * Modelos cualitativos, se apoyan de gráficos y no buscan un resultado de prototipo exacto, sino que intentan detectar, por ejemplo, la tendencia de un sistema a aumentar o disminuir un determinado valor;
- * Modelos cuantitativos, que, por el contrario, necesitan proporcionar un número preciso, para esto se apoyan en fórmulas matemáticas de variada complejidad. (Pérez y Gardey, 2017).

2.1.7 Modelos estadísticos para evaluación de impactos

Los métodos estadísticos han resultado ser de gran utilidad desde mediados del siglo XX, en el diseño y evaluación de las políticas públicas y privadas encaminadas a promover el desarrollo económico y social de los países del mundo, dado que después de la segunda guerra mundial se encontraron con la necesidad de planificar los procesos integrales de desarrollo. Las herramientas estadísticas son muy concurrentes en el análisis de los impactos de política económica a partir de datos, dado que existe todo un conjunto de métodos enfocados a ese tipo de análisis clasificados como métodos econométricos, (que van más allá de los análisis de series temporales) los métodos estadísticos son considerablemente utilizados en la determinación de la población objetivo. Desde las herramientas sencillas de análisis exploratorio utilizadas para

caracterizar a los individuos, hasta herramientas complejas de tipo geoestadístico que permiten localizar territorialmente a aquellas personas con cierto tipo de características, pasando por las técnicas de agrupación y los métodos de clasificación (Soto, 2010).

2.1.8 Evaluación de impacto con métodos cuantitativos

De la Guía para la evaluación de impacto de la formación profesional. CINTERFOR, el método cuantitativo busca verificar la relación de causalidad entre la acción de formación y sus impactos. Al efecto, utiliza la información contenida en los objetivos del programa y, con base en la información recolectada, establece el grado en que los objetivos se alcanzaron, mediante un indicador.

El impacto es la diferencia entre la situación “con formación” y “sin formación”, como se indica en la Ilustración 5. La pregunta central que ejemplifica este enfoque es: ¿Cuál hubiera sido la situación de los participantes, si ellos no hubiesen recibido la formación?

I. Diseño experimental

Este enfoque usa técnicas de comparación estadística para crear la relación causa-efecto entre la acción de formación y los cambios que se produjeron en los partícipes. Una

característica primordial es que el impacto se mide en términos comparativos entre los colaboradores y los no colaboradores. En consecuencia, se recurre a un grupo similar (grupo de control) que no haya participado de las acciones y por tanto permita aislar efectos de factores exógenos al programa. (Billorou et al., 2011)

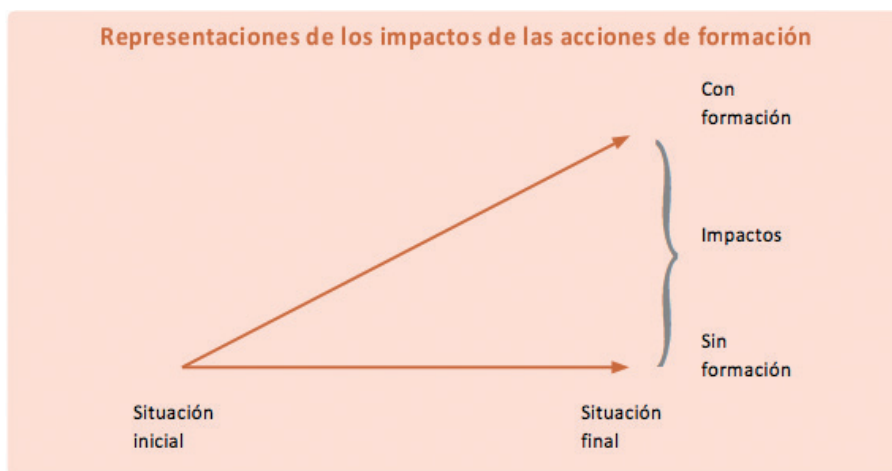


Ilustración 5. Representación de impactos en acciones de formación.
Fuente: <http://guia.oitcinterfor.org/como-evaluar/que-tipos-indicadores>

II. Diseño semi-experimental

Este tipo de diseño también llamado cuasi-experimental, se fundamenta también en la conformación de los dos grupos, el de colaboradores y el de control, pero no excluye a estos últimos de la participación en el programa. En este enfoque las personas que integran el grupo de colaboradores han ingresado al programa por su voluntad y no como resultado de un sorteo aleatorio. Se trata de que las personas que van a

conformar el grupo de control sean lo más parecidas posibles a aquellas que constituyen el grupo de colaboradores. Es decir, que para conformar dichos grupos de comparación se trabaja a partir de las variables centrales o las que se cree pueden provocar o influir en los resultados. (Billorou et al., 2011)

III. Diseño no experimental

Este enfoque no utiliza grupos de control para evaluar los impactos de las acciones implementadas; es decir, solo trabaja con la población que participó en el proyecto. El no utilizar grupos de control puede obedecer a que sencillamente no fue previsto en la planificación de la evaluación o, a que, en algunos casos, existen razones técnicas que impiden la construcción de los dos grupos. Es el caso de la evaluación de impacto de una política pública nacional que debe cubrir a toda la población o a un sector importante de ella; la construcción de grupos de control por métodos experimentales supondría separar de los beneficios de las políticas a importantes porciones de la población. (Billorou et al., 2011)

2.2 Marco conceptual:

2.2.1 Concepto de evaluación

Evaluar constituye un proceso sistemático, metódico y neutral que hace posible el conocimiento de los efectos

de un programa, relacionándolos con los fines propuestos y los recursos congregados. De esta manera, y siguiendo a Stufflebeam, describió que la evaluación es un proceso que proporciona la identificación, la recolección y la interpretación de informaciones útiles a los apoderados de tomar decisiones y a los comprometidos de la ejecución y gestión de los programas, como se cita en De Medina (2004).

2.2.2 Evaluación de Impactos

Evaluación de impacto se entiende al proceso evaluativo orientado a medir los resultados de las intervenciones, en cantidad, calidad y extensión según las reglas preestablecidas. La medida de los resultados, característica principal de la evaluación de impacto, permite comparar la categoría de realización alcanzada con el grado de realización deseado. Compara, de esta forma, la planeación con el resultado de la ejecución. La evaluación de impacto abarca todos los efectos secundarios a la planeación y a la ejecución: específicos y globales; buscados (según los objetivos) o no; positivos, negativos o neutros; directos o indirectos (la puesta en marcha del programa puede generar por sí misma efectos sobre los directamente involucrados, hasta la sociedad toda). Durante décadas, la idea predominante era “evaluar es medir”, dándole peso únicamente a las dimensiones e indicadores cuantitativos. Actualmente, la evaluación de impacto es valorada como un proceso amplio y global, en el que al abordaje cuantitativo se agregan técnicas cualitativas (De Medina, 2004)

2.2.3 Marco conceptual general del ciclo de los proyectos del Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Del Manual de Soporte Conceptual Metodología General de Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública se analiza la Metodología General Ajustada (MGA) como una herramienta informática que ayuda de forma esquemática y modular el desarrollo de los procesos de identificación, preparación, evaluación y programación de los Proyectos de Inversión. Esta herramienta está conformada por cuatro (4) módulos en los cuales se debe depositar la información del proyecto de inversión a la hora de ser formulado (Ilustración 6). Para ello, es importante que quien la tramite, sea experto en los conceptos básicos de la teoría de proyectos y de su aplicación durante cada una de las etapas por las que éste debe pasar: preinversión, inversión, operación y evaluación expost (DIFP, 2013).

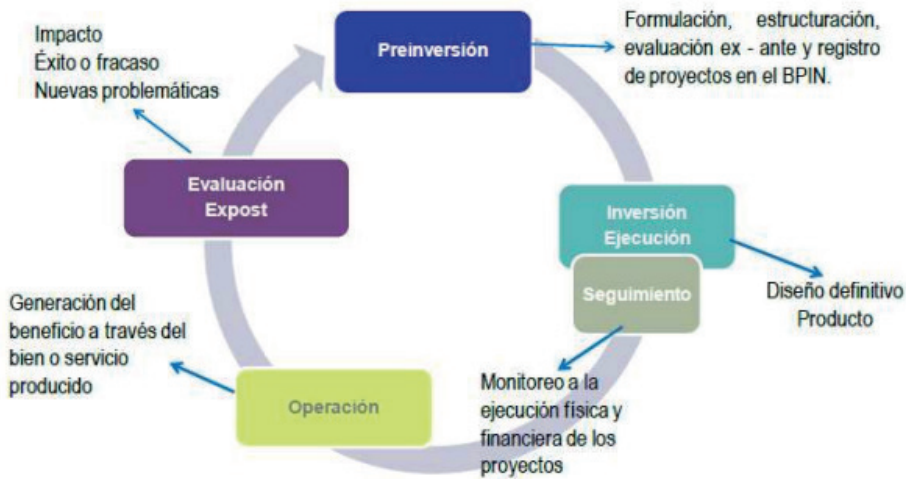


Ilustración 6. Ciclo de proyectos de inversión pública.
Fuente: (DIFP, 2013).

2.3 Impactos social, económico y ambiental

Los impactos social, económico y ambiental, hacen referencia a los cambios directos o indirectos que hayan surgido por la realización de un proyecto.

2.3.1 Impacto social

La evaluación de impacto de proyectos sociales de fecha más reciente es aquella que intenta comprobar los cambios producidos por las mediaciones a que son sometidas las poblaciones objetivo en la cual es aplicado un cierto proyecto.

Es decir, la evaluación de impacto busca medir los resultados – en términos de cambios/efectos -, que una determinada intervención social (plan/programa/proyecto) ha transferido a una población objetivo cualquiera e implica una serie de procedimientos técnicos concatenados. Desde esta perspectiva, la evaluación de impacto no busca determinar el nivel de logro de los objetivos propuestos por un determinado proyecto, con lo que se diferencia de la evaluación ex – post. La evaluación de impacto en muchos casos ignora explícitamente los objetivos previamente establecidos por la intervención social, dándole mayor importancia a efectos que no necesariamente se derivan de los objetivos de la intervención social (Valdés, 2009).

Para realizar la evaluación de impacto necesariamente ha de acudir a un modelo de tiempo y objetivos, en el sentido que, para posibilitar la evaluación de impacto, se requiere precisamente de la voluntad de hacer la evaluación, esto es, el desarrollo de un proyecto de evaluación paralelo a la elaboración de la intervención social a ejecutar, una medición antes de la aplicación del plan, programa o proyecto para la construcción de la línea de base, y una medición después de la ejecución del programa o proyecto para la construcción de una línea de comparación. (Valdés, 2009)

El impacto social lo definen Torres (2017) en su tesis Doctoral como “Las consecuencias para la población humana de cualquier acción pública o privada que altera la forma en que las personas viven, trabajan, se entretienen, se relacionan con los otros, se organizan para satisfacer sus necesidades

y se las arreglan como miembros de la sociedad. El termino también incluye el impacto cultural que involucra cambios en las normas, valores y creencias que guían y racionalizan el conocimiento de ellos mismos y de la sociedad”.

2.3.2 Impacto económico

Los estudios de impacto económico sirven para medir los resultados y los beneficios de inversiones en infraestructuras, proyectos de inversión social, así como de cualquier otra actividad susceptible de generar un impacto socioeconómico, incluyendo cambios legislativos y regulatorios. Los estudios de impacto económico ayudan a las Administraciones Públicas en la toma de decisiones sobre proyectos de inversión y medidas de política pública:

El impacto económico de un mismo tipo de inversión puede ser muy diferente dependiendo de las características del país o región y del momento temporal en el que se lleve a cabo. La cuantificación del impacto económico no debe por tanto basarse en la mera extrapolación de otras experiencias, sino que requiere un análisis específico caso por caso (Peláez, 2019).

Dada la actual problemática mundial, derivada del calentamiento global y el cambio climático por el uso exuberante de los combustibles fósiles, la ESF es una gran alternativa como fuente de suministro energético cuyo uso debería justificarse por encima de consideraciones

económicas. Sin embargo, gracias al desarrollo tecnológico que ha experimentado el sector solar, hoy día está por encima de cualquier otro tipo de energía renovable o de generación eléctrica. (Rúa et al., 2017)

2.3.3 Impacto ambiental

La electrificación con ESF no genera contaminación ambiental en el proceso de generación, sin embargo, en el momento de la fabricación de sus componentes como paneles solares, baterías, inversores, cables etc., se consume energía calorífica y eléctrica que sí contaminan.

Esteve (2013), en su tesis de maestría afirma que “Las poblaciones de las Zonas No Interconectadas (ZNI) requieren de la energía en sus diferentes formas para efectuar sus actividades diarias y productivas. El acceso a la energía eléctrica posibilita la implementación de diferentes herramientas que facilitan las actividades de las poblaciones mejorando su nivel de vida y disminuyendo los riesgos como explosiones debido a la cocción con combustible de kerosene, y problemas relacionados con la salud, también por deficiencias respiratorias causadas por las constantes cocciones con leña. Adicionalmente, la energía eléctrica posibilita el acceso a los sistemas actuales de información y comunicación. Los impactos ambientales y sociales de la electrificación en las ZNI dependen de la misión que se realice; una apropiada gestión energética crea un aumento de la calidad de vida de las

poblaciones y proporciona soluciones sostenibles a largo plazo contribuyendo a la sostenibilidad local, sin implicar grandes daños ambientales, además, contribuye al uso eficiente de los recursos y a atenuar el cambio climático”.

En lo relacionado con lo ambiental se destaca que la electrificación con Energía Solar Fotovoltaica (ESF) emite un 71,3% menos de Gases Efecto Invernadero (GEI) que los que emite el Sistema Interconectado (SIN), con una reducción en emisiones equivalente a 162 Kg CO_{2eq} / año por cada usuario. El SFV produce muy bajo impacto ambiental pues se considera una energía renovable y limpia, y al ser instalada cerca de la vivienda rural no requiere de poda de bosques y vegetación como sí ocurre con las redes rurales del SIN. (Rúa et al, 2017)

2.4 Proyectos de Sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas

Colombia posee una matriz energética amplia tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables. Actualmente, la producción energética del país está constituida a grandes rasgos en un 93% de recursos primarios de origen fósil, aproximadamente un 4% de hidroenergía y un 3% de biomasa y residuos. La demanda de energía y de servicios, con miras al desarrollo social y económico y a la mejora de bienestar y la salud de las personas, va en aumento. Todas las poblaciones necesitan de servicios energéticos para cubrir las necesidades humanas básicas, y para los procesos

productivos. Y debido a que las fuentes de energía utilizadas en el mundo son esencialmente no renovables y su generación se realiza en su mayoría a través de procesos contaminantes, Por esta razón surgen las energías renovables como solución para reducir las emisiones de CO₂, pero sin afectar a las personas (UPME, 2015).

2.4.1 Energía solar

La energía solar es una fuente de energía excesiva, no contaminante y se encuentra disponible en cualquier parte del planeta, pudiendo ser percibida y convertida en energía térmica o eléctrica en la zona de uso. La conversión directa de energía solar en electricidad se obtiene mediante la utilización de dispositivos electrónicos, denominados celdas solares o fotovoltaicas (FV), que aplican un proceso físico denominado efecto fotovoltaico, descubierto por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel en 1839. El módulo fotovoltaico por excelencia es la celda solar de silicio cristalino (material semiconductor), consistente fundamentalmente en un diodo que transforma la radiación solar en corriente continua. (Laborde y Roberto, 2016)

2.4.2 La energía solar fotovoltaica (ESF)

Las celdas de silicio cristalino se fabrican a partir de obleas de dicho material siguiendo una serie de pasos que incluyen

básicamente la generación de la juntura no por difusión de impurezas (típicamente, fósforo), el depósito de los contactos eléctricos frontal y posterior, y la aplicación de un recubrimiento antirreflectante. Por su parte, las láminas, con un espesor de aproximadamente 200 μm , se logran mediante el corte en la dirección transversal de lingotes monocristalinos (sc-Si) o bloques policristalinos o multicristalinos (mc-Si) de silicio de alta pureza dopado con boro.

Las celdas solares de silicio policristalino, cuadradas de 15 cm por cada lado, de producción industrial son: 600 mV de tensión de circuito abierto, 8,4 A de corriente de cortocircuito, y 4 W de potencia eléctrica en corriente continua, con una eficiencia de conversión de energía solar en electricidad entre el 16 y el 17%. Estos módulos solares se conectan, entre sí, en serie para dar lugar al elemento básico de un sistema fotovoltaico, el módulo fotovoltaico o panel solar, con una potencia pico puede variar entre unos pocos Wp y 300 Wp. Los paneles solares de mayor potencia están hechos por una cadena de 72 celdas solares en serie, trabajando en consecuencia a tensiones de aproximadamente 40 V. (Laborde y Roberto, 2016), en la actualidad existen Paneles solares monocristalinos de potencia 450Wp de alta eficiencia 20,6%. Con Garantía de 10 años del producto y vida útil 25 años por producción, monocristalinos de potencia 450Wp de alta eficiencia 20,6%. Con Garantía de 10 años del producto y vida útil 25 años por producción.

La ESF es una solución actual por las garantías que ofrece a las problemáticas de contaminación que tienen las energías convencionales, entre sus principales ventajas están:

- La energía solar se considera infinita y tiene un enorme potencial.
- Sus aplicaciones son amplias desde sistemas muy mínimos hasta plantas solares de producción eléctrica muy gigantes.
- Las instalaciones son independientes y se pueden ubicar fácilmente en cualquier lugar donde lleguen la radiación solar, sin generar pérdidas o riesgos eléctricos en la distribución o transmisión del fluido eléctrico.
- Es una inversión muy factible si se instala en lugares alejados a la red eléctrica.
- La reducción de costos acorde a los mercados y procesos de manufactura.
- Es un gran beneficio para las economías locales.
- No genera daños ambientales, por el contrario, promueve la reducción de gases invernadero, libre de ruidos y emisiones.
- Recuperar la inversión es rápida, con tiempos de recuperación alrededor de 3 años.

- Esta es una Tecnología comprobada, confiable, eficiente y de larga duración.
- Los costos de mantenimiento son extremadamente bajos.

La tecnología fotovoltaica se está desarrollando rápidamente. Actualmente existen en el mercado una gran variedad de tecnologías de paneles solares, se clasifican en poli y monocristalinos, existen diferentes tecnologías de películas delgadas (thin-film) estas siguen mejorando su eficiencia y están creciendo en su aplicación, por la facilidad de maniobra e instalación, además por sus bajos costos de producción (Flórez, 2016).

Los paneles fotovoltaicos son la elección renovable más extensiva para suministrar electricidad a hogares rurales aislados, debido a la generalidad del recurso solar y su sencilla operación, frente a la eólica y micro hidráulica. Sin embargo, la opción fotovoltaica puede resultar de mantenimiento más dispendioso, debido a la mayor cantidad de baterías requeridas (Juanicó y Rinalde, 2010)

2.5 Caso Hato Corozal, Casanare, Colombia

Colombia con una superficie terrestre de 1.141.749 km², es considerado un país grande, con una población aproximada de 50 millones de habitantes; donde más del 70% de la población

vive en el sector urbano, en ciudades y municipios que cuentan con todos los servicios públicos, medios de transporte, salud, educación, entre otros. Mientras que el resto de la población que vive en el sector rural no cuenta con algunos de los servicios básicos como la energía, agua potable y electricidad, lo cual los hace más propensos a enfermedades, con un desarrollo económico bajo y una menor calidad de vida.

Hato Corozal, un municipio del departamento de Casanare (Ilustración 7) con grandes extensiones de tierras, donde la población rural es superior a la urbana (Ilustración 8), según Núñez (2015) la distribución de población por áreas urbana y rural del municipio de Hato Corozal es para el año 2012 de 41.54% y 58.46% respectivamente. Este municipio de 5436 km², ubicado en la Orinoquía Colombiana (6° 10` longitud norte y 71° 46` latitud oeste), se encuentra a una altura de 250 msnm, con temperaturas anuales entre 25 a 27 °C.

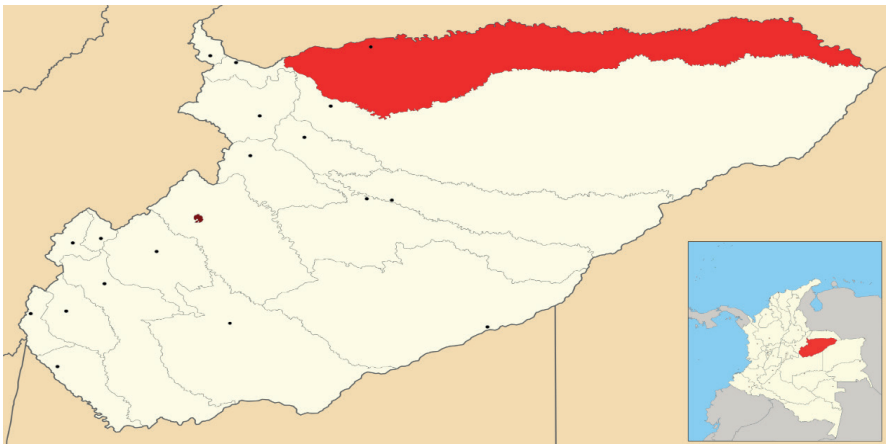


Ilustración 7. Hato Corozal en Colombia.

Fuente: Wikipedia, Hato Corozal. https://es.wikipedia.org/wiki/Hato_Corozal

2.5.1 Sistemas fotovoltaicos, la nueva alternativa de abastecimiento energético para familias de Hato Corozal

Se trata del primer sistema de energía solar robusto instalado en viviendas rurales aisladas del país el cual logra ser ejecutado por la Gobernación Departamental, este proyecto tiene por objetivo contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la zona rural del municipio de Hato Corozal. El proyecto, con una inversión cercana a los 4 mil millones de pesos, fue ejecutado por el Consorcio Hatosolar y Pedraza Ingeniería S.A.S., (Casanare, 2016).

Siendo este tipo de sistema de abastecimiento alternativo de energía, una de las principales fuentes de aprovechamiento de la energía renovable, hacen que el departamento de Casanare se ponga al nivel de países desarrollados preocupados por la implementación de mecanismos de estímulos para la implementación de sistemas renovables de energía limpia que hacen frente a las problemáticas del calentamiento global y le apuestan a la preservación y conservación del planeta. A cada vivienda beneficiada con el proyecto se le instaló un sistema solar fotovoltaico que consta de 6 paneles de 185 vatios cada uno para un total de 1.110 vatios por sistema. Los mismos cuentan con un almacenamiento de energía a cuatro baterías de 200 amperios hora C/U a 12 voltios, lo que permitirá la utilización de electrodomésticos de mayor y menor consumo, así como la iluminación de sus viviendas (Casanare, 2016).

Este sistema fue dimensionado individualmente, teniendo en cuenta el consumo promedio dado por las 200 viviendas beneficiadas y ubicadas en las diferentes veredas de la zona rural del municipio de Hato Corozal, en la Tabla 2 se especifican los equipos seleccionados para cada vivienda del sistema.

Tabla 2. Equipos seleccionados para cada vivienda rural:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
6	Módulos solares fotovoltaicos policristalinos de 185Wp – 24 VDC
4	Baterías estacionarias (solares) VRLA gel de 200 Ah – 12 VDC
1	Regulador MPPT (controlador) de 48 VDC – 30 Amp.
1	Inversor de 1000 w, 48 VDC – 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura
1	Estructura metálica de soporte para juego de seis (6) módulos
1	Instalación de puesta a tierra
1	Instalación de materiales eléctricos de interconexión y protecciones SFV.

Fuente: Elaboración propia

2.5.2 Proyectos financiados por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas- IPSE

El IPSE, evalúa y financia proyectos por intermedio del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas – FAZNI, y de esta forma brindar el servicio de energía eléctrica a usuarios ubicados en las Zonas no Interconectadas del país (Ilustración 9). Teniendo en cuenta esto, el IPSE implementó proyectos energéticos con fuentes no convencionales en las zonas no interconectadas, alcanzando una capacidad instalada de 2,13 MW entre los años 2016 y 2017 (DNP, 2018).



Ilustración 9. Presentación programa IPSE
Fuente: DNP, (2018).

2.5.3 Calidad de vida rural en Hato Corozal Casanare

De acuerdo con Jiménez y Gómez (1996), asumiendo la propuesta de la Organización de las Naciones Unidas, se tomaron los siguientes parámetros para ser evaluados con respecto a la calidad de vida de los pobladores en la zona analizada: 1. Salud, 2. Alimentación, 3. Educación, 4. Trabajo, 5. Vivienda, 6. Seguridad social, 7. Vestidos, 8. Ocio, 9. Derechos humanos.

Otra característica presente en estas comunidades hace referencia a la deficiente infraestructura de conexión que tienen con el mundo exterior, como lo son las vías en mal estado, el alumbrado público, la conexión celular y la conexión a internet, lo cual dificulta aún más su interacción con las comunidades adyacentes. Estos servicios en muchas oportunidades se limitan a suplir las mínimas necesidades de las comunidades, por lo que los proyectos dirigidos a estas comunidades se enfocan principalmente en mejorar el bienestar, las oportunidades laborales y la calidad de vida de sus habitantes (Muñoz et al., 2012).

Adicionalmente, y con todas las dificultades presentes, también se puede percibir que condiciones de higiene y salud de los habitantes de estas zonas no son las mejores, con centros de atención médica distantes, y los cuales muchas

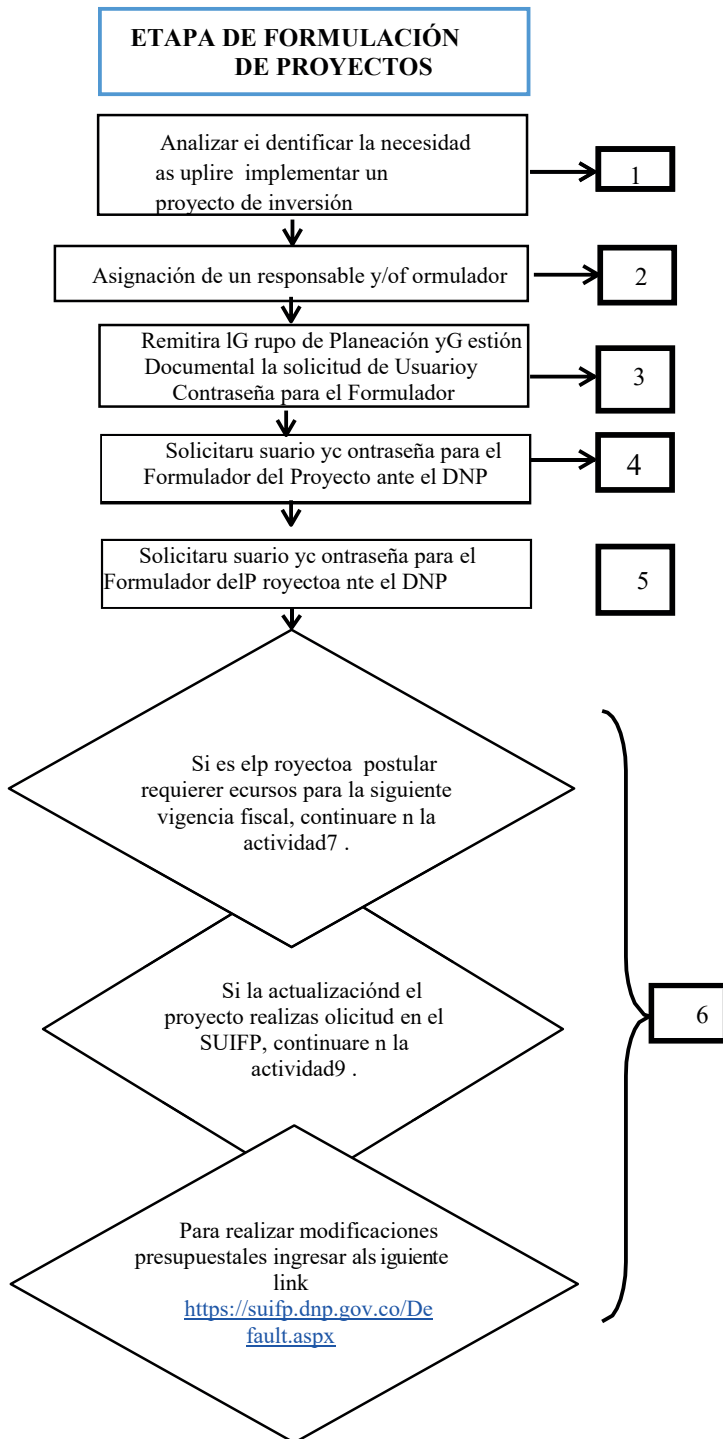
veces no cuentan con los equipamientos necesarios para la adecuada atención de sus usuarios.

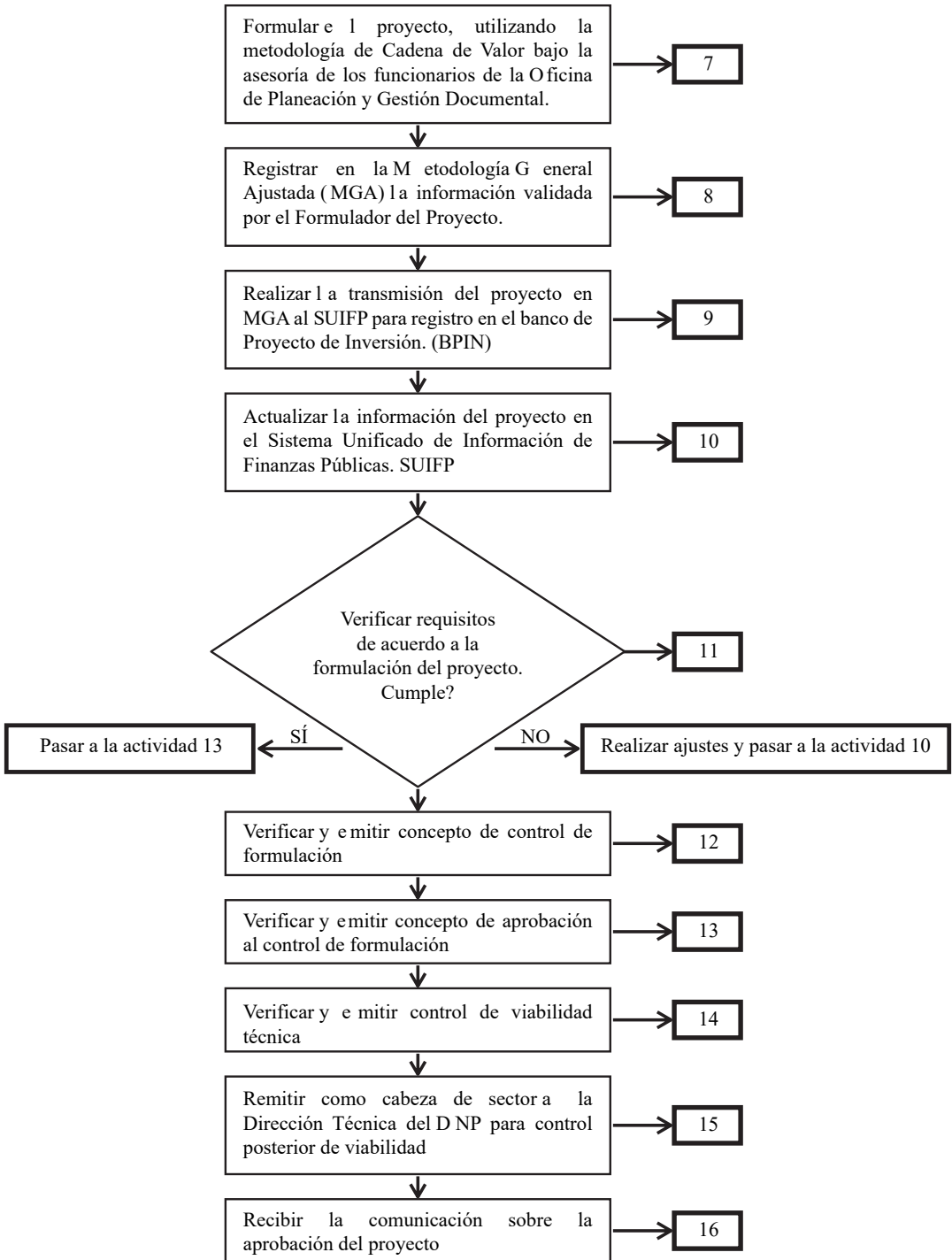
2.6 IPSE. Procedimiento proyectos de inversión

A través de este proceso se desarrollan los parámetros metodológicos para la observación, análisis, formulación, evaluación, registro, programación, ejecución y seguimiento de los proyectos de inversión dados a partir de la aplicación de esta metodología. El procedimiento inicia con la identificación de la necesidad (observación y análisis de las necesidades de las comunidades) para posteriormente realizar todo el proceso de desarrollo del proyecto de inversión y su respectiva aprobación y seguimiento de este (IPSE, 2016).

2.6.1 Flujograma del procedimiento proyectos de inversión

En la Ilustración 10 se muestra el Flujograma de todo el proyecto de inversión y los pasos a seguir.





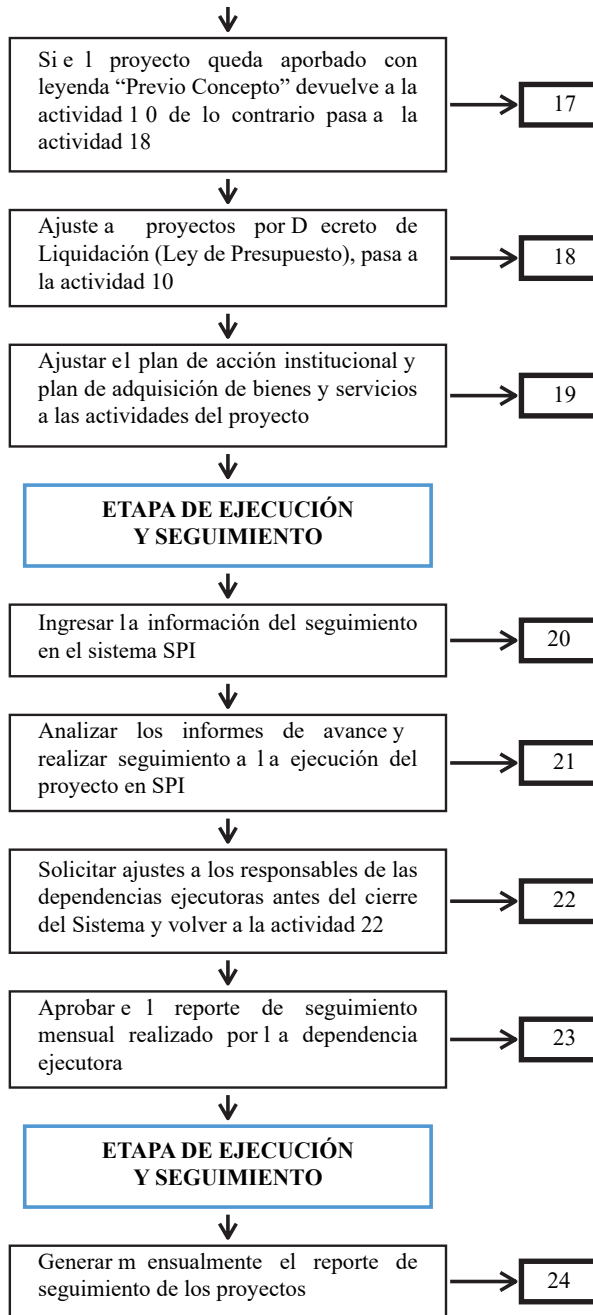


Ilustración 10. Flujograma del procedimiento proyectos de inversión. Fuente: IPSE, (2016).

2.6.2 Evaluación de proyectos IPSE

A continuación se enumeran los formatos y procesos de evaluación realizados para cada proyecto de inversión en zonas no interconectadas (ZNI)

EV-01 Flujo de caja a precios constantes de la opción de solución No.

EV-02 Costo de oportunidad

EV-03 VPN financiero a precios de mercado, de la opción de solución No.

EV-04 Nuevo VPN financiero de la opción de solución No.

EV-05 Tasa interna de retorno financiera de la opción de solución No.

EV-06 CAE de la pre-inversión y ejecución de la opción de solución No.

EV-07 CAE para costos similares de la operación y mantenimiento de la opción de solución No.

EV-08 Valor presente de los costos de la operación y mantenimiento a precios constantes (VPCDOM) de la opción de solución No.

EV-09 CAE para costos diferentes de la operación y mantenimiento de la opción de solución No.

EV-10 CAE de salvamento de la opción de solución No.

EV-11 Costo anual equivalente a precios de mercado de la opción de solución No.

EV-12 Flujo de caja a precios económicos o sociales de la opción de solución No.

EV-13 VPN a precios económicos o sociales de la opción de solución NO.

EV-14 Nuevo VPN económico o social de la opción de solución No.

EV-15 Cálculo de la tasa interna de retorno económica o social de la opción de solución No.

EV-16 CAEES de la pre-inversión y ejecución a precios económicos o sociales de la opción de solución No.

EV-17 CAEES de la operación y mantenimiento a precios económicos o sociales de la opción de solución No.

EV-18 Valor presente de los costos de la operación y mantenimiento a precios económicos o sociales

EV-19 CAEES para costos diferentes de la operación y mantenimiento a precios económicos o sociales de la opción de solución No.

EV-20 CAEES de salvamento a precios económicos o sociales de la opción de solución No.

EV-21 Costo anual equivalente a precios económicos o sociales de la opción de solución No.

EV-22 Ponderación en el uso de los factores de origen nacional de la opción de solución No.

EV-23 Resumen comparativo – Descripción de las opciones

EV-24 Resumen comparativo – Costos de las opciones

EV-25 Resumen evaluación financiera, económica o social y ponderación del uso de factores de origen nacional de las opciones

EV-26 Selección y justificación de la opción de solución

EV-27 Selección del nombre del proyecto

EV-28 Datos complementarios del proyecto

3. Investigaciones precedentes

Como antecedentes a esta tesis se encuentran pocos modelos matemáticos o estadísticos para evaluación ex ante o expos de proyectos enfocados en electrificación rural aislada o en zonas rurales donde no llega la electricidad. A continuación, se presentan los trabajos tomados como antecedentes a esta tesis.

3.1 Tesis doctoral en Barcelona, España

Domenech (2013) desarrolla una metodología que contribuye con el diseño de sistemas de electrificación autónomos basados en energía eólica y energía solar, las variables con la que cuenta la metodología permiten que el sistema se adecúe a las características económicas, técnicas y sociales de la comunidad rural analizada. La metodología propuesta se divide en 3 etapas principales:

1. Primera etapa: en esta etapa se desarrolla una evaluación inicial de diferentes aspectos (socioeconómica, energética y técnica) para adquirir la información requerida y caracterizar la comunidad a electrificar.
2. Segunda etapa: en esta se desarrolla el proceso de diseño, esta etapa se subdivide en 3 niveles de decisión, los cuales son ordenados en función de la importancia de las decisión a tomar.

Específicamente, en estos 3 subniveles se analiza la influencia en el sistema de las siguientes variables: costo de modificación en la demanda (nivel 1), gestión del sistema (nivel 2) y seguridad del suministro (nivel 3). Adicionalmente, cada subnivel de decisión se divide en 2 pasos: en el primero se generan diversas opciones de electrificación con un modelo de programación lineal, incluyendo consideraciones técnicas y sociales; y en el segundo se selecciona la alternativa más adecuada en función de criterios socio-económicos y técnicos de la zona analizada, esto se realiza mediante la técnica de multicriterio en programación compromiso.

3. Tercera etapa: esta etapa es opcional y permite proponer mejoras en el coste de la solución propuesta, manteniendo de esta forma las decisiones previamente tomadas.

Para la validación de este trabajo de investigación, se aplicó la metodología a dos usuarios de dos comunidades (El Alumbre y Alto Perú) ubicadas en Cajamarca (Perú), esta prueba piloto

permitted corroborate that the systems proposed by the methodology are adequate for the simulated conditions and that some of the decisions were personalized allowing in this way to obtain results that agree with the preferences of the users (Domenech, 2013).

3.2 Tesis de maestría en Madrid España

Another work taken as a reference in this study is the one carried out by Sández (2013), the author implements a flexible methodology based on principles, criteria and indicators, which allow designing and evaluating the impacts that a determined project of renewable energies and energy efficiency can reach on the living conditions of a benefited community. Additionally, in this work several projects developed in Senegal, in which the proposed methodology has been applied successfully, these projects are varied in terms of their scale, which allows verifying the flexibility of the methodology.

This methodology is based on a series of indicators that contemplate the potential impacts that the projects can reach on the living conditions of the benefited communities. The indicators are grouped by criteria, which in turn contemplate four principles related to the action of the benefited communities: Economic, Social, Environmental and Empowerment.

Adicionalmente, la evaluación aplicada a los proyectos desarrollados en Senegal, permitió identificar diferentes factores que son determinantes para el éxito del proyecto y sus potenciales contribuciones al desarrollo humano de las poblaciones receptoras. Como factor predominante de éxito, se identificó que la solución a ser implementada debe ser lo más sencilla posible, lo cual podría mejorar la apropiación del conocimiento por parte de la comunidad beneficiada y todos los implicados en su implementación, como también se facilitarían las labores de mantenimiento. Sin embargo, esto último ha representado un factor de fracaso, ya que algunas comunidades no se han realizado las consultas de forma adecuada, dejándolas de lado, lo cual no permite que se realice una réplica y se cuenten con aportes en otros proyectos similares, ya que no se cuenta con personal capaz de realizar o compartir una retroalimentación de los aciertos y errores cometidos, lo cual favorecería las nuevas aplicaciones. Esto de forma general ha desfavorecido la sostenibilidad económica de algunas instalaciones realizadas.

En general, la metodología aplicada y los casos de estudio presentados en este trabajo, pretenden aportar una contribución en la mejora de proyectos de EREE al desarrollo humano, por consiguiente, este puede ser un recurso útil para muchas empresas, ONG's y administraciones públicas involucradas en este tipo de proyectos.

3.3 Tesis doctoral Madrid España

Otro referente muy significativo es el trabajo desarrollado por Fernández (2014), el cual propone una metodología para medir los co-beneficios que producen los denominados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto, en los países receptores, con un enfoque de Desarrollo Humano. Esta metodología pretende medir el desarrollo al nivel local, y es compatible con otras metodologías que se han desarrollado a nivel nacional e internacional (Sutter, 2003). Además, a través de la aplicación de la metodología en casos de estudio en Brasil, se llega a unas conclusiones sobre la necesidad de poner precio al desarrollo sostenible que apoyan algunas de las discusiones que se están llevando a cabo en el marco de definición del régimen Post-Kioto.

La metodología S&E (del inglés Sustainability & Empowerment) se trata de una herramienta flexible, basada en un sistema de principios, criterios e indicadores. Para definir una herramienta que mida la contribución al desarrollo de mecanismos diseñados con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y dado que en el PK se habla de “Desarrollo Sostenible” en el sentido más general, el primer paso fue generar el marco conceptual de lo que se entiende por contribución al desarrollo. Dado que existen herramientas diseñadas para medir la contribución al desarrollo a escala global, y tomando en consideración estudios previos que señalan la necesidad de incluir el componente de desarrollo desde la etapa de

diseño de los MDL para realmente generar un desarrollo sostenible en las comunidades en las que se implementan estos proyectos (Boyd et al., 2007; Sirohi, 2007), se decidió desarrollar una herramienta de aplicación individual al nivel del proyecto. Y dado que como objetivo final se buscaba que la metodología mostrara los cambios en las condiciones de vida de las personas antes y después de la existencia del mDL; se seleccionó el paradigma de Desarrollo Humano como marco teórico sobre el que construir los indicadores.

3.4 Tesis de grado en Colombia

Gómez (2017) en su trabajo muestra y analiza los siguientes aspectos con referencia a la energía solar: el aprovechamiento, los beneficios, qué tan favorable es la ubicación geográfica de Colombia, en qué zonas se ha invertido más en estas tecnologías, qué zonas cuentan con mayor potencial solar (recurso solar - radiación) y por qué no se ha extendido en todo el país esta fuente de generación renovable. Además, se divulgarán fondos e instituciones de apoyo financiero y técnico, instituciones y políticas que regulan la solar FV, normativas, leyes e incentivos tributarios, proyectos puestos en marcha y en planeación, inversiones hechas en el tema, empresas comercializadoras, las aplicaciones que se pueden llevar a cabo por medio de sistemas fotovoltaicos, el desarrollo de esta tecnología en el país y las pautas que se deben tener en cuenta al invertir en esta fuente de generación, para de

esta manera mejorar la eficiencia energética, dar a conocer la misma y motivar a los Colombianos en emigrar a esta fuente de generación de carácter renovable.

3.5 Artículo de investigación

Otro referente internacional muy apropiado es Lillo et al. (2016) el cual indica que los sistemas autónomos basados en el uso de energías renovables (ER) han demostrado ser adecuados para brindar servicios de energía y saneamiento a comunidades aisladas. Sin embargo, la mayoría de estos proyectos fracasan debido a deficiencias en la gestión. En estos sistemas, diseñar un modelo de gestión adecuado es un tema clave para la sostenibilidad y es especialmente complejo si tiene que incluir diferentes tecnologías de ER. Este artículo tiene como objetivo desarrollar un modelo de gestión novedoso para proyectos de ER para proporcionar servicios de energía y saneamiento capaces de manejar cualquier tipo de tecnología. Además, se propone un nuevo método para evaluar la sostenibilidad con respecto a la dimensión técnica, económica, social/ética, ambiental e institucional/organizacional. En particular, se presenta el caso de estudio de Pucará (Perú), en el que se implementó un proyecto de ER con seis tecnologías diferentes y se diseñó el modelo de gestión comunitaria integral en 2011. La sostenibilidad del proyecto se evaluó en 2013 y los resultados mostraron que el modelo de gestión ha logrado fortalecer la sostenibilidad del proyecto,

especialmente en los aspectos institucionales organizativos. Palabras clave. Proyectos de energías renovables, Servicios básicos de energía y saneamiento, Áreas rurales, Modelo de Gestión y Sostenibilidad.

3.6 Marco legal

Con la ley 697 de 2001, el gobierno nacional da los primeros pasos encaminados hacia la promoción de Fuentes no convencionales de energía y programas de uso racional y eficiente de energía (URE), declarando estos últimos como de interés social, público y de conveniencia nacional. Le asigna al estado en cabeza del Ministerio de Minas y Energía (MME), la responsabilidad de la creación de normas y de la infraestructura técnica y económica para que se desarrollen iniciativas URE en Colombia. Crea el programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE), a cargo del MME, cuya función es promover el uso de energías no convencionales y programas de eficiencia energética; también involucra a los prestadores del servicio de electricidad dándoles la obligación de desarrollar programas URE y de incentivar y apoyar los usuarios que deseen desarrollarlos. Esta ley se reglamenta posteriormente por medio del decreto 3683 de 2003 de la Presidencia de la República, en el cual se da a los diferentes organismos del estado funciones específicas encaminadas a desarrollar el objeto de la ley, convirtiéndola en ley marco orientada más

hacia iniciativas URE que a energías renovables, pero que al no contar con mecanismos ni instrumentos concretos no logra incentivar de forma importante su desarrollo, (Torres, 2016).

Finalmente se establece la Ley N° 1715 del 13 de mayo del 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. La cual tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Esta última ley, que está a la espera de ser regulada, presenta grandes beneficios económicos para la generación de energía por medio de fuentes renovables y permite la venta de los excedentes de energía, (Torres, 2016).

4. Metodología

4.1 Introducción

A través de este proyecto se pretende elaborar un modelo matemático y herramienta computacional que permita evaluar los impactos social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas en Colombia. Modelo y Herramienta que serán de aplicación por el IPSE y Empresas involucradas en proyectos de inversión solar fotovoltaica.

Se establece una metodología de tipo multivariado. La muestra contó con un total de ochenta (80) familias a las cuales se le instalaron los sistemas de electrificación solar fotovoltaica, donde mediante el uso del paquete Estadístico Stata se construyó el análisis, el cual trabajó con 64 variables de tipo cualitativo y cuantitativo dicotómicas y politómicas

que se incluyeron en el análisis. El procedimiento o método análisis de carácter multivariado apoyado en estadísticos de correlación (coeficiente de SPEARMAN), para cada uno de los tres factores definidos en la encuesta.

El formulario de la encuesta fue desarrollado durante el año 2019, en el programa de Doctorado en proyectos con especialidad en investigación en Desarrollo sostenible y energías renovables. Las preguntas incluidas en la encuesta fueron extraídas de varios instrumentos de carácter internacional, nacional e institucional, entre los que se encuentran la “Evaluación de impacto socioeconómico y ambiental de proyectos de energía solar en zonas rurales de Kenia”, entre otras.

4.2 Diseño de la investigación

Esta investigación es un estudio tipo descriptivo, tiene un enfoque cuali-cuantitativo donde la información es recolectada sin manipulación, el diseño es observacional de acuerdo al propósito, es prospectivo según la cronología, Tipo transaccional descriptiva y transversal según el número de mediciones. Para determinar las variables se diseñó un cuestionario – encuesta, aplicada a una muestra finita, tipo personal. El análisis de las encuestas se hace a través de un software estadístico. Partiendo de estas variables se procede al diseño del modelo matemático para la evaluación de impactos social, económico y ambiental de proyectos de

sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas en Colombia.

4.3 Población y muestra

4.3.1 La población

La población en este proyecto de investigación hace referencia a cien (100) viviendas beneficiadas por el IPSE para electrificación solar fotovoltaica aislada.

4.3.2 Muestra

Para la determinación del tamaño de la muestra se emplearán características del muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas, dado que este tipo de muestreo permite determinar el número de encuestas teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Para el cálculo del tamaño de muestra (n – Ec. 4) se emplea un 95% de confianza y un margen de error del 5%

Distribución proporcional, de acuerdo a los predios objeto de estudio, con el objeto de tener una muestra con

características lo suficientemente representativas para el estudio.

Con base en lo anterior, se definió una muestra de 80 viviendas rurales:

$$n = \frac{Z^2 PQN}{e^2(N - 1) + Z^2 PQ} \quad (4)$$

Z: Margen de confiabilidad (expresado en desviaciones estándar)

P: Probabilidad de que el evento ocurra (expresado en unidad)

Q: Probabilidad de que el evento no ocurra (1-*P*)

e: Error de estimación (máximo error permisible por unidad)

N: Población (universo a investigar)

N - 1: Factor de corrección por finitud

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)(100)}{(0.05)^2(100 - 1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)} = 79.50 \text{ muestra igual a 80 viviendas}$$

4.4. Variables

1. Impacto social (Variable dependiente): El impacto social se puede medir y evaluar en los distintos municipios del

país desde el antes y el después de realizado el proyecto de inversión social, (Electrificación Solar Fotovoltaica para vivienda aislada) incluye variables relacionadas con las características de las viviendas y su entorno. En total se tienen en cuenta un conjunto de variables:

- Material de la vivienda, del techo y de los pisos
- Número de habitantes en la casa
- Electrodomésticos eléctricos en la vivienda
- Tipo de iluminación de la vivienda
- Disponibilidad de Servicios básicos
- Destino de las basuras
- Fuente de abastecimiento del agua

2. Uso de los sistemas solares fotovoltaicos aislados (Variable dependiente): Un sistema fotovoltaico es un dispositivo que a partir de la radiación solar produce energía en condiciones de ser aprovechada por el hombre. Para asegurar el buen uso y mantenimiento de estos sistemas se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Conocer la capacidad o generación eléctrica del sistema solar fotovoltaico.
- Conocer el consumo eléctrico de los electrodomésticos de la vivienda.

- Saber cómo funciona el sistema fotovoltaico aislado
- Saber cómo funciona el sistema eléctrico del sistema S.F.
- Conocer la función y uso de todos los componentes del sistema S. F.
- Saber hacer el mantenimiento (limpieza) de las placas solares Fotovoltaicas.

3. Expectativa del sistema solar fotovoltaico como solución eléctrica (variable independiente). Una expectativa es lo que se considera lo más probable que suceda, en este proyecto la expectativa es que el modelo de evaluación de impactos social, económico y ambiental para proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas en Colombia sea una gran herramienta funcional y de gran aplicación.

- Medición de impactos social, económico y ambiental.
- Evaluación matemática apoyada en modelos estadísticos.
- Análisis de la evaluación de impactos.
- Recomendaciones para siguientes proyectos de este mismo tipo.
- Retroalimentación interna y externa de la evaluación.

4.5 Instrumento/s de investigación

El trabajo de campo incluye visitas a las viviendas favorecidas, registro fotográfico, georreferenciación con equipo GPS y la aplicación de un instrumento (cuestionario – encuesta) tipo escalamiento Likert. La validación del cuestionario - encuesta se hará a través de prueba piloto y validación por expertos.

4.6 Análisis de los datos

Para el análisis estadístico de datos se aplicaron las siguientes medidas o técnicas estadísticas de investigación, buscando obtener información cuantitativa, relación entre variables, frecuencias y representación de datos.

4.6.1 El coeficiente de correlación de Spearman

Para realizar el análisis de datos obtenidos en las encuestas se compara cuáles variables están relacionadas entre sí a partir de un estudio de correlación. Como indica Vinuesa (2016), la correlación es en esencia una medida normalizada de asociación o co-variación lineal entre dos variables. Esta medida o índice de correlación r puede variar entre -1 y $+1$, ambos extremos indicando correlaciones perfectas, negativa

y positiva respectivamente. Un valor de $r = 0$ indica que no existe relación lineal entre las dos variables. Una correlación positiva indica que ambas variables varían en el mismo sentido. Una correlación negativa significa que ambas variables varían en sentidos opuestos. Lo interesante del índice de correlación es que r es en sí mismo una medida del tamaño del efecto, que suele interpretarse de la siguiente manera:

correlación despreciable: $r < |0.1|$

correlación baja: $|0.1| < r \leq |0.3|$

correlación mediana: $|0.3| < r \leq |0.5|$

correlación fuerte o alta: $r > |0.5|$

El coeficiente de correlación por jerarquías de Spearman (Rho de Spearman) es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos. Este coeficiente es muy útil cuando el número de pares de sujetos (n) que se desea asociar es pequeño (menor de 30). Aparte de permitir conocer el grado de asociación entre ambas variables, con Rho de Spearman es posible determinar la dependencia o independencia de dos variables aleatorias, (Elorza, 2008).

El coeficiente de correlación de Spearman, también conocido como de rangos ordenados, es de los que más se aplican. Destaca su utilidad cuando el número de pares de puntuaciones (n) que se desea asociar es pequeño (menor que 30). Si el número de dichos pares es muy grande, se emplea

un modelo paramétrico, ya que, por el teorema central del límite, la condición de normalidad no afecta los resultados. Este coeficiente es una variedad particular del coeficiente de Pearson, por lo que se define como sigue:

$$rs = 1 - \frac{6T}{n(n^2 - 1)} \quad (5)$$

$$T = \sum_{t=1}^n [R(x_t) - R(y_t)]^2 \quad (6)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

$R(x_t)$ = variables x jerarquizadas (ordenadas)

$R(y_t)$ = variables y jerarquizadas (ordenadas)

Además de obtener el grado de asociación entre ambas variables con rs , es posible determinar la dependencia o independencia de dos variables aleatorias. Para la prueba de independencia en la que se utiliza rs existen tres cosas:

1. Prueba bilateral

H_0 : Las x_i y las y_i son mutuamente independientes.

H_1 : a) Cuando los valores altos de x tienden a ser pareados con los valores altos de y .

b) Cuando los valores bajos (o pequeños) de x tienden a ser pareados con los valores altos (o grandes) de y . Si H_0 no se rechaza, tanto para a) como b), x y y son dependientes.

2. Prueba unilateral, correlación positiva

H_0 : Las x_i y las y_i son mutuamente independientes.

H_1 : Cuando los valores altos (o grandes) x y de y tienden a ser pareados al mismo tiempo. Entonces, x y y son dependientes.

3. Prueba unilateral, correlación negativa

H_0 : Las x_i y las y_i son mutuamente independientes.

H_1 : Cuando los valores pequeños o bajos de x tienden a ser pareados con los valores altos o grandes de y ; también se prevé el caso inverso. x y y se consideran dependientes.

No obstante que la hipótesis nula de no correlación entre x y y es más precisa que el concepto de independencia entre x y y mencionado anteriormente (y que implica la existencia) como señalan las hipótesis alternas de correlación entre x y y , en este texto se usará el concepto de independencia, debido a que es más fácil de interpretar y tiene un uso más amplio.

Para el Análisis de resultados el coeficiente de correlación de Spearman es un caso particular del coeficiente de correlación lineal de Pearson; por eso, para fines prácticos, r_s puede interpretarse como r_{xy} , aunque si existieran muchos

empates en los datos ordenados rx_{xy} y rs discreparán, (Elorza, 2008).

4.6.2 Frecuencia, porcentajes y representación de datos

Al resumir grandes colecciones de datos, resulta útil distribuirlos en clases o categorías, y determinar el número de individuos que pertenecen a cada clase, lo cual se denomina frecuencia de clase.

- Para aplicar en la estratificación social de la población beneficiada en estos proyectos de sistemas solares fotovoltaicos aislada.
- Para aplicar en el uso o aplicación de los sistemas solares fotovoltaicos aislados en las viviendas beneficiadas de Hato Corozal.
- Para aplicar en la expectativa del sistema solar fotovoltaico como solución eléctrica

4.6.3 Análisis multivariado o multivariante

El análisis multivariante, en esencia, se dedica al estudio de varias variables de modo simultáneo. Es decir, tomamos un objeto y no sólo medimos un aspecto suyo (e.g. una persona

a la que se mide sólo su altura), sino que consideramos varios aspectos y tratamos de determinar la relación entre estas medidas. Es decir, medimos además de la altura, el peso, y además indicamos su sexo, cuál es la clase social a la que pertenece y cuál es su renta por año. Además, no sólo nos interesan los valores en cada caso, sino también las relaciones simultáneas entre ellas.

Con el desarrollo de la Informática, se ha hecho posible desarrollar e implementar programas estadísticos que contienen las técnicas multivariantes; así, todos los programas de este tipo contienen una parte importante dedicada a estas técnicas (ejemplo, se puede ver en R, statgraphics, SPSS).

El análisis multivariante (AM) es la parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resultan de observar más de una variable estadística sobre una muestra de individuos. Las variables observables son homogéneas y correlacionadas, sin que alguna predomine sobre las demás. La información estadística en AM es de carácter multidimensional, por lo tanto, la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariantes juegan un papel fundamental. La información multivariante es una matriz de datos, pero a menudo, en AM la información de entrada consiste en matrices de distancias o similitudes, que miden el grado de discrepancia entre los individuos. Comenzaremos con las técnicas que se basan en matrices de datos n, p ; siendo n el número de individuos y p el de variables, (Cuadras, 1996).

4.6.4 Modelos de elección discreta

La utilidad de los modelos de elección discreta frente a la econometría tradicional radica en que los primeros permiten la modelización de variables cualitativas, a través del uso de técnicas propias de las variables discretas. Se dice que una variable es discreta cuando está formada por un número finito de alternativas que miden cualidades. Esta característica exige la codificación como paso previo a la modelización, proceso por el cual las alternativas de las variables se transforman en códigos o valores cuánticos, susceptibles de ser modelizados utilizando técnicas econométricas.

La modelización de este tipo de variables se conoce genéricamente con el nombre de modelos de elección discreta, dentro de la cual existe una amplia tipología de modelos. En concreto, según el número de alternativas incluidas en la variable endógena, se distinguen los modelos de respuesta dicotómica frente a los denominados modelos de respuesta o elección múltiple. Según la función utilizada para la estimación de la probabilidad existe el modelo de probabilidad lineal truncado, el modelo Logit y el modelo Probit. Según que las alternativas de la variable endógena sean excluyentes o incorporen información ordinal se distingue entre los modelos con datos no ordenados y los modelos con datos ordenados. Dentro de los primeros, según que los regresores hagan referencia a aspectos específicos de la muestra o de las alternativas entre las que se ha de elegir, se distingue entre los modelos multinomiales y los condicionales.

Teniendo en cuenta todos los elementos que influyen en el proceso de especificación de los modelos de elección discreta, se puede establecer una clasificación general de los mismos, que queda recogida en el siguiente cuadro.

4.6.5 Modelos de respuesta dicotómica

En la literatura existen dos enfoques para la interpretación estructural de los modelos de elección discreta. El primero hace referencia a la modelización de una variable latente a través de una función índice, que trata de modelizar una variable inobservable o latente. El segundo de los enfoques permite interpretar los modelos de elección discreta bajo la teoría de la utilidad aleatoria, de tal manera que la alternativa seleccionada en cada caso será aquella que maximice la utilidad esperada.

Bajo el primero de los enfoques (Lustración 11, Ec. 7) se trata de modelizar una variable índice, inobservable o latente no limitada en su rango de variación, li^* . Cuando la variable latente supera un determinado nivel, la variable discreta toma el valor 1, y si no lo supera toma el valor 0. La variable latente depende de un conjunto de variables explicativas 1 que generan las alternativas que se dan en la realidad y que permiten expresar el modelo dicotómico como:

Clasificación de los modelos de elección discreta

Nº de alternativas	Tipo de alternativas	Tipo de función	El regresor se refiere a:	
			Características (de los individuos)	Atributos (de las alternativas)
Modelos de respuesta dicotómica (2 alternativas)	Complementarias	Lineal	Modelo de Probabilidad Lineal Truncado	
		Logística	Modelo Logit	
		Normal tipificada	Modelo Probit	
Modelos de respuesta múltiple (más de 2 alternativas)	No ordenadas	Logística	Logit Multinomial	Logit Condicional
			- Logit Anidado	- Logit Anidado
			- Logit Mixto	- Logit Mixto
	Normal tipificada	Probit Multinomial	Probit Condicional	
		Probit Multivariante	Probit Multivariante	
	Ordenadas	Logística	Logit Ordenado	
Normal tipificada		Probit Ordenado		

Ilustración 11. Clasificación de los modelos de elección discreta

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } l_i^* > 0 \text{ lo que ocurre cuando } X_i\beta + \varepsilon_i > 0 \\ 1 & \text{si } l_i^* < 0 \text{ lo que ocurre cuando } X_i\beta + \varepsilon_i < 0 \end{cases} \quad (7)$$

donde el supuesto sobre la distribución de ε_i determina el tipo de modelo a estimar: si se supone una función de distribución uniforme, se utiliza el Modelo Lineal de Probabilidad truncada; si se distribuye como una normal con media cero y varianza uno, el modelo generado será un Probit; mientras que si se supone que se distribuye como una curva logística, se trataría de un modelo Logit. La hipótesis de que el umbral a superar por la variable latente sea cero se puede modificar por cualquier otro valor sugiriéndose, en determinados estudios, que el valor crítico sea el definido por el término constante, (Moral, 2003).

4.6.6 Especificación de los modelos de elección discreta (Logit y Probit).

Dado que el uso de una función de distribución garantiza que el resultado de la estimación esté acotado entre 0 y 1, en principio las posibles alternativas son varias, siendo las más habituales la función de distribución logística, que ha dado lugar al modelo Logit, y la función de distribución de la normal tipificada, que ha dado lugar al modelo Probit. Tanto los modelos Logit como los Probit relacionan, por tanto, la variable endógena Y_i con las variables explicativas X_{ki} a través de una función de distribución.

En el caso del modelo Logit, la función utilizada es la logística, por lo que la especificación de este tipo de modelos queda como sigue:

$$Y_i = \frac{1}{1 + e^{-\alpha - \beta_k X_{ki}}} + \varepsilon_i = \frac{e^{\alpha + \beta_k X_{ki}}}{1 + e^{\alpha + \beta_k X_{ki}}} + \varepsilon_i \quad (8)$$

Al igual que en el Modelo Lineal de Probabilidad, el Modelo Logit se puede interpretar en términos probabilísticos, es decir, sirve para medir la probabilidad de que ocurra el acontecimiento objeto de estudio ($Y_i = 1$). En cuanto a la interpretación de los parámetros estimados en un modelo Logit, el signo de los mismos indica la dirección en que se mueve la probabilidad cuando aumenta la variable explicativa

correspondiente, sin embargo, la cuantía del parámetro no coincide con la magnitud de la variación en la probabilidad (como sí ocurría en el MLP). En el caso de los modelos Logit, al suponer una relación no lineal entre las variables explicativas y la probabilidad de ocurrencia del acontecimiento, cuando aumenta en una unidad la variable explicativa los incrementos en la probabilidad no son siempre iguales ya que dependen del nivel original de la misma.

Una interpretación más sencilla del parámetro estimado es la que se obtiene a través de la linealización del modelo. Para ello, partiendo de la ecuación general del Modelo Logit y definido M_i como la probabilidad del estado o la alternativa 1, se tiene

$$E(Y_i) = Prob(Y_i = 1) = M_i = \frac{e^{\alpha + \beta_k X_{ki}}}{1 + e^{\alpha + \beta_k X_{ki}}} \quad (9)$$

De donde, despejando:

$$e^{\alpha + \beta_k X_{ki}} = \frac{M_i}{(1 - M_i)} \quad (10)$$

Al cociente entre la probabilidad de que ocurra un hecho, o de que se elija la opción 1, frente a la probabilidad de que no suceda el fenómeno, o de que se elija la opción 0, se la denomina como la *Ratio odds* (Ec. 11). Su interpretación es la “ventaja” o preferencia de la opción 1 frente a la 0, es decir, el número de veces que es más probable que ocurra el fenómeno frente a que no ocurra.

$$\text{Ratio odds} = \frac{M_i}{(1 - M_i)} \quad (11)$$

El *Ratio odds*, tal y como está construido (cociente entre probabilidades), siempre será mayor o igual que 0. El campo de variación del ratio va desde 0 hasta + ∞ , y su interpretación se realiza en función de que el valor sea igual, menor o superior a la unidad: si toma el valor 1 significa que la probabilidad de que ocurra la alternativa 1 es la misma que la de que no ocurra; si el ratio es menor que 1 indica que la ocurrencia de la alternativa 1 tiene menor probabilidad que la ocurrencia de la alternativa 0; mientras que si es mayor que la unidad la opción 1 es más probable que la 0.

5. RESULTADOS

5.1 Análisis Descriptivo

El trabajo que a continuación se presenta, permite de forma descriptiva reconocer variables e identificar las condicionantes globales de los posibles impactos sociales, económicos y ambientales del proyecto de Sistemas Solares Fotovoltaicos para viviendas aisladas en Hato Corozal, municipio de Casanare (Colombia). El análisis descriptivo no es decisorio, pero presenta gran utilidad, pues caracteriza cada variable.

La población encuestada se ubica en su totalidad en zona rural, para este análisis se contó específicamente con un total de 78 encuestados, los cuales en su mayoría poseen un nivel de escolaridad como mínimo de bachillerato con un 68.5%. La población encuestada se divide según el género en un 17.1 % de mujeres y un 82.9% para el género masculino, como se indica en la Ilustración 12.

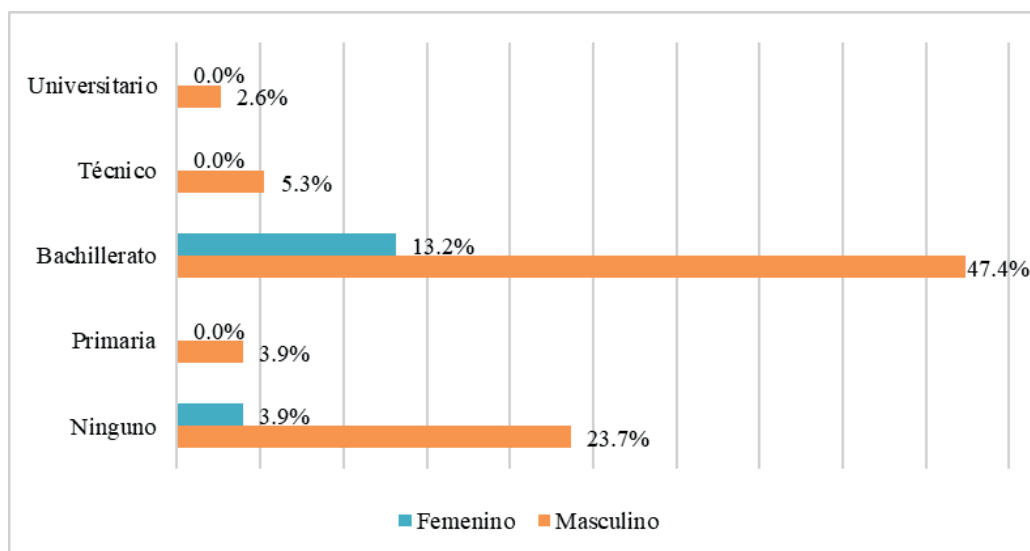


Ilustración 12. Distribución para la muestra según el género y el nivel de escolaridad
Fuente: Autores

Según la edad, la muestra se agrupó por frecuencias en siete clases, donde predomina un mayor porcentaje para los usuarios de las celdas fotovoltaicas ente 40 y 48 años de edad, con 39% de la población seguido por un 22% para los adultos entre 48 y 56 años, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución de frecuencias agrupadas según la edad

Rango de edad	Frecuencia simple	Porcentaje
[24,32)	3	4%
[32,40)	6	8%
[40,48)	30	39%
[48,56)	17	22%
[56,64)	12	16%
[64,72)	6	8%
[72,80)	2	3%
Total	76	

Fuente: Autores

La distribución según el estado civil de los encuestados se presenta de la siguiente forma (Ilustración 13), la mayoría se encuentran en estado de conviviente o se catalogan como una pareja de hecho, emparejamiento doméstico o asociación libre, donde dicha vinculación afectiva y de convivencia entre los componentes de las parejas de hecho, que en ocasiones conlleva una dependencia económica análoga a la de un matrimonio, algunos ordenamientos jurídicos se han visto en la necesidad de regularlas para evitar el desamparo de

alguno de los componentes de la pareja en ciertas situaciones como muerte del otro, enfermedad, etc.

La Ilustración 14 nos muestra la relación entre el medio utilizado para iluminación antes de la implementación de los paneles solares y el medio de combustión usado al cocinar. Para cocinas los hogares encuestados manifiestan solo dos recursos, la leña y el gas, en una mayor proporción el uso de la combustión a gas, mientras que para iluminar su hogar se destaca el uso del queroseno el cual, al ser un compuesto de hidrocarburos, que se obtiene por destilación del petróleo, es bastante dañino para el medio ambiente.

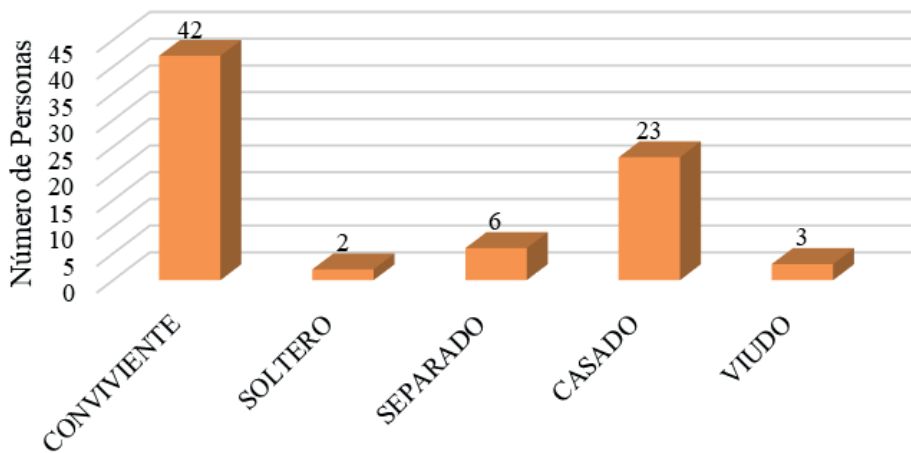


Ilustración 13. Distribución de la muestra según el estado civil
Fuente: Autores

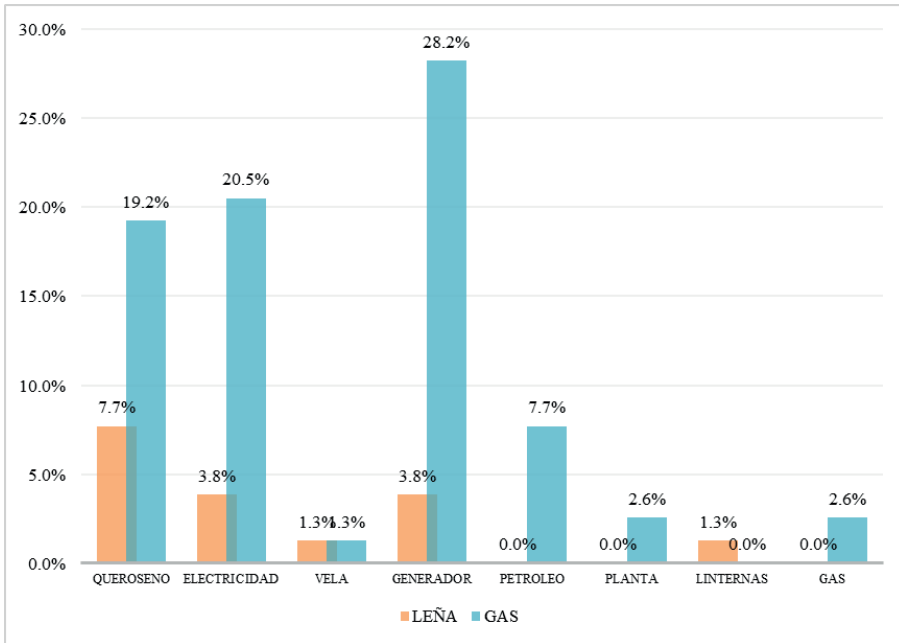


Ilustración 14. Distribución para tipo de medio de combustión al cocinar y el medio de iluminación del hogar
Fuente: Autores

5.2 Análisis de variables de empoderamiento

Después de la implementación del proyecto es clara la necesidad de establecer medidas que conviertan la ejecución del mismo, en un sistema perdurable en el tiempo que conlleve al desarrollo de la población. Este es uno de los principales planteamientos de cualquier proyecto, debe resultar positivo para la comunidad, este debe incluir un componente de capacitación para la población beneficiaria del proyecto, a continuación, se presenta la percepción de la población objeto frente al desarrollo en términos del empoderamiento.

Este proyecto se sintetiza en una estrategia de desarrollo sostenible de energía comunitaria, donde capacitar a la población en el uso y buen manejo de los paneles solares, estuvo contemplado mediante talleres, folletos o seminarios, la Ilustración 15 evidencia el porcentaje de aplicación de estas estrategias donde sobresale el uso de folletos con un 37,9%, esta es un estrategia publicitaria que tiene por objetivo principal dar información sobre un producto en este caso los paneles solares, debido a esto, persigue siempre la simplicidad y la exposición de mensajes claros y escuetos, esta es según la necesidad de la comunidad una estrategia muy pobre para contribuir en el empoderamiento de este tipo de energías sin contar con que la mayor parte de la población solo cuenta con un nivel de bachillerato, la estrategia no manifiesta una alta efectividad.

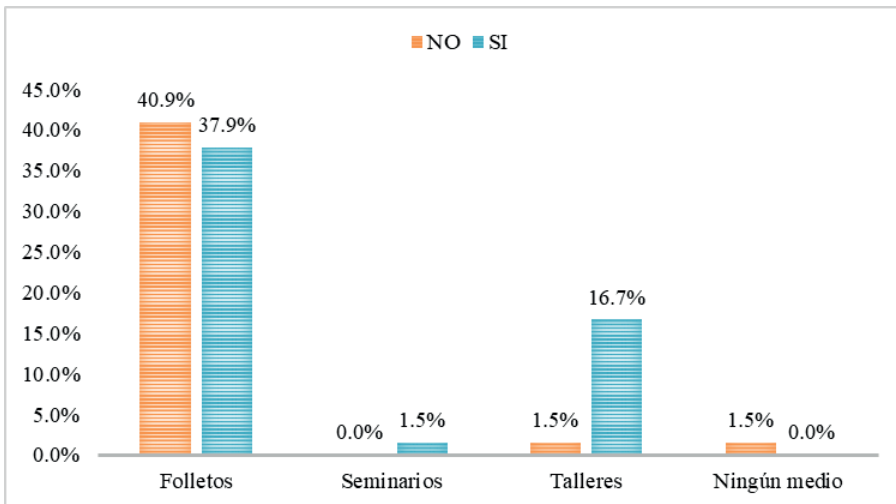


Ilustración 15. Distribución para el tipo de actividades ejecutadas en pro del empoderamiento del método de energía implementado (paneles solares)

Fuente: Autores

Es por ello que se puede afirmar que permanece el reto de contribuir a la mejora de las condiciones de vida de la comunidad para garantizar el empoderamiento de la comunidad de las soluciones de energía limpias actuales. Ya que, en algunas ocasiones cuando se brindan herramientas que dan respuesta a sus necesidades, algunas no son las más adecuadas o el acompañamiento para asegurar la sostenibilidad de las mismas es deficiente. La Ilustración 16 presenta una estrategia efectiva usada para empoderamiento (talleres) ya que el uso de folletos llegó a gran población, pero no logró el objetivo, la actividad de cómo está dirigiéndose a la comunidad debe direccionarse de forma más efectiva. La aplicación de talleres con un 16.7% de aplicabilidad, se traduce en la mejor estrategia y debe convertirse en plan pionero de empoderamiento con la comunidad.

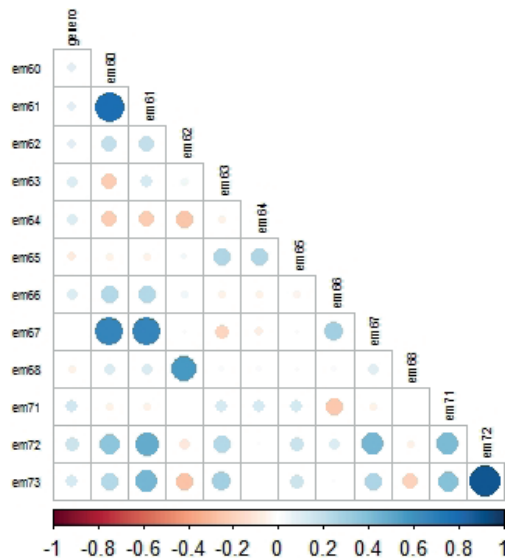


Ilustración 16. Coeficiente de Spearman para variables de empoderamiento
 Fuente: Autores

La Ilustración 16 presenta un análisis global de la correlación entre 12 de las preguntas incluidas para el factor empoderamiento, (Ver Anexo 3: Codificación para las preguntas). Es importante mencionar que el uso del coeficiente de Spearman aplica principalmente en muestras que no poseen una distribución normal, condiciones identificadas en la encuesta realizada en este proyecto.

La Ilustración 16 evidencia la posible asociación entre pares de variables (preguntas), donde se establece que el color rojo indica una asociación negativa, mientras que el color azul se refiere a una asociación positiva, adicionalmente a mayor intensidad del color y mayor área del círculo más fuerte es la asociación.

Las preguntas número *em60* manifiesta una correlación positiva y fuerte aproximadamente del 90% con la pregunta *em61*, donde se manifiesta una íntima relación entre la necesidad de capacitar a la personas en nuevas tecnología específicamente los paneles solares y que esta capacitación debe realizarse referente al uso y mantenimiento, adicional la pregunta *em60* muestra también una alta correlación aproximadamente del 80% con la pregunta *em67* la cual contrasta a su vez como requerimiento la necesidad de construir un política de cuidado al medio ambiente con la concientización de la población en el uso racional de las energías renovables. Estas tres preguntas se convierten en características propias de empoderamiento.

Por otro lado, la pregunta número *em72* manifiesta una correlación positiva y fuerte, igualmente del 90% con la pregunta *em73*, las cuales presenta un aporte sustancial a la comunidad considerando el aumento de la fuerza laboral

del género femenino y además mejorar positivamente la posibilidad de la inclusión de personas discapacitadas como fuerza laboral.

5.3 Análisis factor 1: impacto o dimensión económica

La Ilustración 17 presenta un análisis global de la correlación entre 13 de las preguntas incluidas para el factor referente al impacto económico, (Ver Anexo 3: Codificación para las preguntas). Es importante mencionar que el uso del coeficiente de Spearman aplica principalmente en muestra que no poseen una distribución normal, condiciones identificadas en la encuesta realizada en este proyecto.

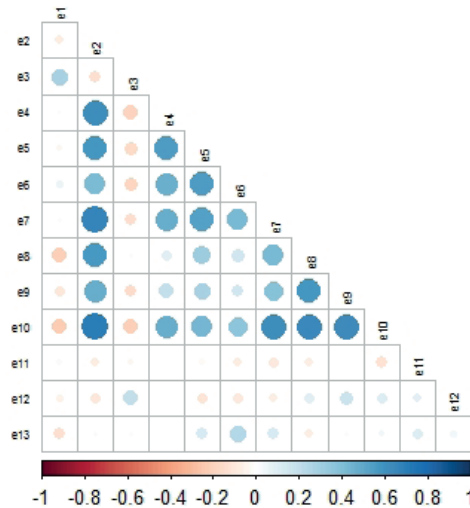


Ilustración 17. Coeficiente de Spearman para variables, factor de impacto económico

Fuente: Autores

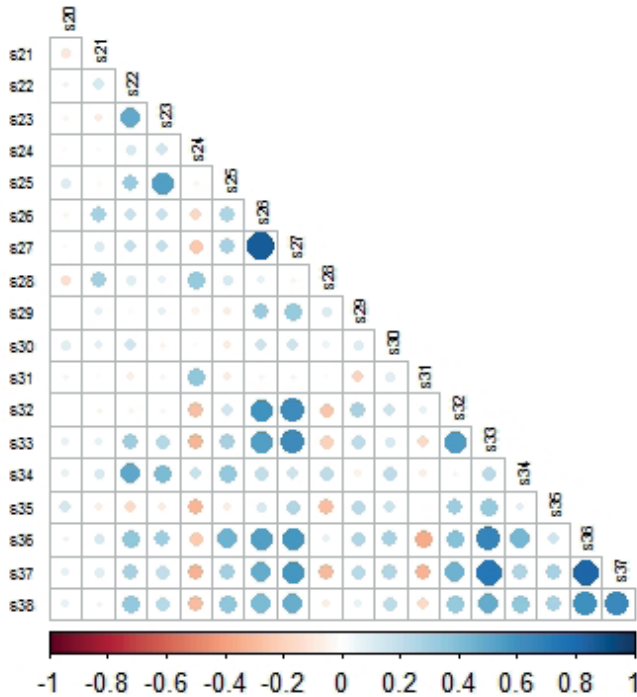
La Ilustración 17, evidencia la posible asociación entre pares de variables (preguntas), donde se establece que el color rojo indica una asociación negativa, mientras que el color azul se refiere a una asociación positiva, adicionalmente a mayor intensidad del color y mayor área del círculo más fuerte es la asociación.

La pregunta número e2, la cual se refiere a la creación de proyecto que vinculen el usos de la energía mediante paneles solares, presenta una relación positiva de casi un 70% con variables como e4, la cual habla de un aumento posiblemente en construcciones de infraestructura lo cual está íntimamente relacionado con un desarrollo económico de la región, con variables como e5 y e6, las cuales manifiestan condiciones laborales satisfactorias o que están íntimamente ligadas a un aumento del impacto económico. Además de evidenciar una relación positiva con e8 de un 60%, variable que habla de la satisfacción de los usuarios de paneles solares en términos de cubrir sus necesidades.

5.4 Análisis factor 2: impacto o dimensión social

La Ilustración 18 presenta un análisis global de la correlación entre 12 preguntas incluidas para el factor social (Ver Anexo 3: Codificación para las preguntas). Es importante mencionar que el uso del coeficiente de Spearman aplica principalmente en muestras pequeñas las cuales no poseen una distribución

normal, condiciones identificadas en la encuesta realizada en este proyecto.



*Ilustración 18. Coeficiente de Spearman para variables, factor impacto social
Fuente: Autores*

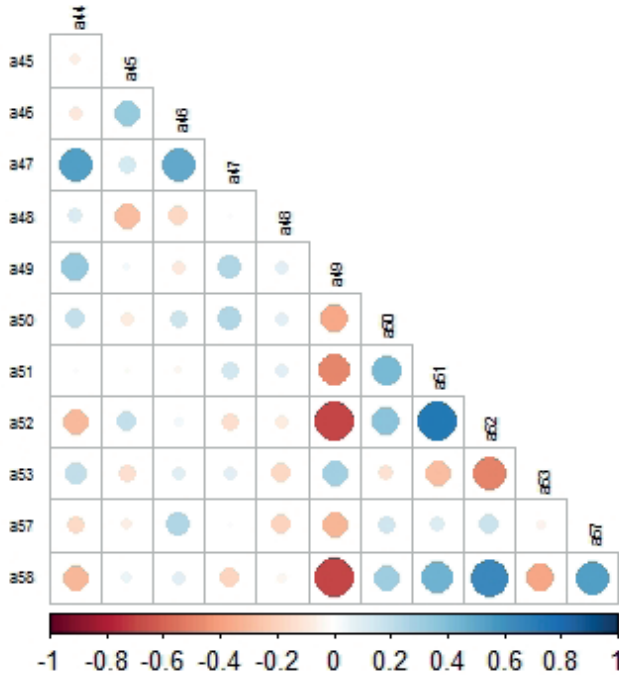
La Ilustración 18 evidencia la posible asociación entre pares de variables (preguntas), donde se establece que el color rojo indica una asociación negativa, mientras que el color azul se refiere a una asociación positiva, adicionalmente a mayor intensidad del color y mayor área del círculo más fuerte es la asociación.

La pregunta número s27 manifiesta una correlación positiva y fuerte aproximadamente del 90% con la pregunta s26:

- s26 ¿Actualmente sus hijos asisten a la escuela?
- s27 ¿Pueden sus hijos estudiar más tiempo en casa desde que obtuvo acceso a la electricidad, por medio de los paneles solares?

5.5 Factor 3: impacto o dimensión ambiental

La Ilustración 19 presenta un análisis global de la correlación entre 12 de las preguntas incluidas para el factor empoderamiento, (Ver Anexo 3: Codificación para las preguntas). Es importante mencionar que el uso del coeficiente de Spearman aplica principalmente en muestras pequeñas las cuales no poseen una distribución normal, condiciones identificadas en la encuesta realizada en este proyecto.



c
Fuente: Autores

La Ilustración 19 evidencia la posible asociación entre pares de variables (preguntas), donde se establece que el color rojo indica una asociación negativa, mientras que el color azul se refiere a una asociación positiva, adicionalmente a mayor intensidad del color y mayor área del círculo más fuerte es la asociación.

Las preguntas número $a49$ y $a52$ presentan una correlación negativa y fuerte aproximadamente del 90%, las preguntas $a49$ y $a58$ también presentan una correlación negativa y fuerte:

- *a49* ¿Considera que ha habido mejoras en la gestión, recolección y tratamiento de residuos, incluyendo reutilización y reciclaje, después de la implementación de los paneles solares?,
- *a52* ¿Usted considera que se ha reducido en el número de enfermedades transmitidas por insectos, debido a la implementación de paneles soleras? y
- *a58* ¿Cuál es el medio de abastecimiento de agua en su hogar?

5.6 Análisis multivariado de impacto económico, ambiental y social

La segunda parte del análisis, se denomina análisis multivariado y en ella se estructuran modelos, mediante el uso de software especializados como R-Studio y Stata que permite evaluar los impactos sociales, económicos y ambientales de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas ubicadas en zonas no interconectadas a la red, presentando a su vez la validación de cada modelo de evaluación de impacto.

Es así como en el presente apartado, se encontrarán tres modelos Logit, asociados a las variables regresadas, factor de impacto económico, ambiental y social, para el proyecto de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas aisladas, en Hato – Corozal, municipio de Casanare (Colombia).

Todos los modelos se estimaron con un nivel de confianza del 80%, lo anterior efecto de que, para algunas variables, algunas de las personas encuestadas no contestaron y existió ausencia de esta información, lo cual reducía la información necesaria para estimación de mayor nivel de confianza.

Las variables dependientes para cada uno de los modelos están definidas y codificadas así:

Tabla 4. Variables independientes por modelo

Pregunta	Variable	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
¿Considera que el uso de los paneles solares ha impactado positivamente su economía?	Impacto Económico.	<i>e1</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Considera que el uso del sistema de paneles solares ha impactado positivamente el medio ambiente de su región?	Impacto Ambiental.	<i>a44</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Considera el uso de paneles solares impactan positivamente en la calidad de vida de su familia?	Impacto Social.	<i>s20</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$

Fuente: Autores

5.6.1 Factor Económico

Para la estimación de los cambios de probabilidad sobre la variable impacto económico ($e1$), se seleccionó el siguiente grupo de preguntas de la encuesta que serán las variables explicativas para este factor, dichas variables son:

Tabla 5. Variables Regresoras, factor impacto económico

Pregunta	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
Desde la implementación de los paneles solares ¿usted ha creado o posee actualmente un proyecto productivo el cual vincule directamente esta actividad?	$e2$	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Ha ahorrado dinero, desde que implemento el uso de los paneles solares?	$e3$	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
Con la implementación del proyecto de los paneles solares ¿usted considera que se ha aumentado el número infraestructuras como resultado del proyecto como carreteras, puentes, centros comunitarios, colegios, centros de salud, salones o kioscos?	$e4$	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$

Pregunta	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
¿Su número de horas laborales ha disminuido desde que se implementó el sistema de paneles solares?	e6	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Recibió capacitación sobre nuevas tecnologías específicamente sobre las ventajas y desventajas del uso de paneles solares?	e7	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿El suministro de energía es suficiente para cubrir todas sus necesidades?	e8	Politómica	$\begin{cases} \text{En desacuerdo} = 1 \\ \text{Otros} = 0 \end{cases}$
¿A qué se dedica actualmente?	e11	Politómica	$\begin{cases} \text{Ganadería} = 1 \\ \text{Otros} = 0 \end{cases}$
¿Cuánto dinero mensual, estima ha podido ahorrar desde que se instaló el sistema de paneles solares?	e13	Cuantitativa	Para el modelo se usará el logaritmo natural de dicho valor.
¿Puede decir que la implementación del sistema de paneles solares lo ha impulsado a comprar electrodomésticos o equipos de comunicación para su hogar?	s31	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Con la implementación del sistema de energía, considera que las opciones laborales en la región se han incrementado?	s38	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$

Pregunta	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
¿Considera que se ha mejorado en los rendimientos o volumen de los cultivos, después del uso de los paneles solares?	<i>a48</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
Edad (De la persona que contestó la encuesta)	<i>ed</i>	Cuantitativa	

Fuente: Autores

Para este primer modelo se usó la información de 76 personas de las 78 encuestadas, dado que, en algunas de las variables escogidas, existía información faltante.

En la Tabla 6 se encuentran los *p*-valores de cada una de las variables seleccionadas como regresoras, para la variable impacto económico y a partir de ellos determinar si están son o no estadísticamente significativas.

Tabla 6. *p*-valores variables regresoras factor económico

Variable dependiente <i>e1</i>	Coef.	Std. Err.	<i>z</i>	<i>p</i> > <i>z</i>	[80% Conf. Interval]	
<i>e2</i>	-2.01	1.60	-1.26	0.21	-4.06	0.03
<i>e3</i>	4.04	1.76	2.30	0.02	1.79	6.29
<i>e4</i>	-0.35	1.54	-0.22	0.82	-2.32	1.63
<i>e6</i>	3.25	1.92	1.69	0.09	0.78	5.71

Variable dependiente <i>e1</i>	Coef.	Std. Err.	<i>z</i>	<i>p > z</i>	[80% Conf. Interval]	
<i>e7</i>	2.25	1.66	1.36	0.18	0.13	4.38
<i>e8</i>	3.80	1.95	1.95	0.05	1.31	6.30
<i>e13</i>	-4.79	2.23	-2.15	0.03	-7.64	-1.94
<i>e31</i>	-0.55	1.47	-0.37	0.71	-2.44	1.34
<i>e38</i>	-0.15	1.16	-0.13	0.90	-1.64	1.34
<i>e48</i>	3.15	2.55	1.24	0.20	-0.11	6.42
<i>ed</i>	0.17	0.08	2.16	0.03	0.07	0.28
_cons	46.07	23.77	1.94	0.05	15.61	76.53

Fuente: Autores

Partiendo del hecho que el nivel de significancia para la presente estimación de un $\alpha = 20\%$, se puede observar en la Tabla 6 y en la tercera columna de esta, que las únicas variables que ejercen cambios de probabilidad sobre la variable impacto económico, son *e3*, *e6*, *e7*, *e8*, *e13*, *e48* y *ed*. Ya que los *p*-valores de estas variables son menores o iguales al 20%.

La variable *e3*, es positiva y estadísticamente significativa, lo cual implica que existe una relación fuerte con la probabilidad de que una persona que ha ahorrado dinero desde la implementación del sistema de energía fotovoltaica, considere que este sistema ha impactado positivamente la economía de su entorno.

Para el caso la variable *e6*, su signo es positivo y esta es estadísticamente significativa, por lo cual una persona que

afirma que por efecto de implementación de los paneles solares hubiese podido disminuir sus horas laborales, aumenta la probabilidad de este considerando que en efectos dicho sistema de energía ha impactado positivamente la economía.

Para el caso la variable $e7$, su signo es positivo y esta es estadísticamente significativa, por lo cual una persona que afirma que por efecto de haber recibido capacitación sobre nuevas tecnologías específicamente sobre las ventajas y desventajas del uso de paneles solares, aumenta la probabilidad de este considerando que en efectos dicho sistema de energía ha impactado positivamente su economía.

La variable $e8$, es otra variable explicativa y con coeficiente positivo, por lo cual, aunque una persona esté en desacuerdo en afirmar que el suministro de energía a hoy no alcanza a cubrir todas sus necesidades, aumenta la probabilidad de que este considere que en efecto ha habido un impacto positivo sobre la economía efecto de los paneles solares, la razón radica en que en algo ha favorecido dicha implementación.

La variable $e13$, es el logaritmo natural del dinero mensual que estiman las personas ha ahorrado desde que se implementó el sistema solar, si dicho dinero sólo aumenta al mes \$1 peso, la probabilidad de que las personas consideren que en efecto hay un impacto positivo del sistema de paneles solares en la economía, disminuye tal cual como pasa con el signo del coeficiente de la variable, esto puede estar dado porque es un incremento muy pequeño sobre el cambio mensual.

El caso de la variable α_{48} , la cual es estadísticamente significativa y con signo positivo, si una persona considera que el rendimiento o volumen de sus cultivos ha mejorado desde la implementación de paneles solares, la probabilidad de que esta persona considere que dicho sistema de energía ha impactado positivamente la economía, aumenta.

Finalmente, la variable ed , que corresponde a la edad, sugiere que un año más de edad en las personas que accedieron a este sistema de energía fotovoltaica, hará que se aumente la probabilidad de que dichas personas consideren que este sistema ha impactado positivamente la economía.

Se debe tener en cuenta, que todas las anteriores interpretaciones se hicieron en promedio y ceteris paribus.

La siguiente tabla evidencia las relaciones de probabilidad (Odds Ratio) y los efectos marginales (dy/dx), el factor impacto económico.

Tabla 7. Odds Ratio y efectos marginales, variables explicativas factor impacto económico.

Variable dependiente $e1$	Odds Ratio	dy/dx
$e2^*$	0.134	-0.044
$e3^*$	56.651	0.427
$e4^*$	0.708	-0.008

Variable dependiente e1	Odds Ratio	dy/dx
e6*	25.779	0.035
e7*	9.508	0.058
e8*	44.922	0.123
e13	0.008	-0.099
s31*	0.578	-0.010
s38*	0.858	-0.003
a48*	23.396	0.024
ed	1.190	0.004
_cons	1.02E+20	

(*)**dy/dx** is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

Fuente: Autores

La probabilidad de que una persona considere que hay un impacto económico positivo con la implementación de los paneles solares en Hato Corozal – Casanare, aumenta en cerca del 42.7 %, siempre y cuando esta persona hubiese podido ahorrar dinero por la implementación de este sistema de energía.

Una persona que hubiese reducido sus horas laborales al día como efecto de la implementación del sistema de energía fotovoltaica tiene cerca de 26 opciones más en promedio y *ceteris paribus*, de considerar que dichos paneles solares han impactado positivamente la economía, frente a una persona

que no hubiese podido reducir sus horas laborales por la adquisición de dicho sistema de energía.

La probabilidad de que una persona considere que si ha habido un impacto positivo del sistema de energía sobre el factor económico, aumenta en alrededor del 3.5%, cuando esta persona está en desacuerdo con desacuerdo con respecto, a que el suministro de energía sea suficiente para cubrir sus necesidades en Hato-Corozal, Casanare, lo anterior puede estar sujeto a que aunque se suplan todas las necesidades, algunas necesidades del hogar y el trabajo se han ido apoyando por la medición de dicho sistema de energía.

La probabilidad de que persona afirme que la implementación de energía fotovoltaica ha impactado positivamente la economía, decrece en cerca del 9.9% si el dinero mensual que ahorra una persona de Hato- Corozal que usa los paneles solares, no tiene un efecto diferenciador entre un mes y el otro.

Una persona de Hato-Corozal, que afirma que con la implementación del sistema fotovoltaico se ha dado un mejor rendimiento en sus cultivos tiene mínimo 23 opciones más de considerar que este sistema de energía ha impactado positivamente la economía, frente a una persona que observe algún cambio en sus cultivos desde que se están usando los paneles solares, esto tenido en cuenta la variable α_{48}^* .

Finalmente, la probabilidad de que se considere que el sistema de energía fotovoltaica ha impactado positivamente la

economía aumenta en cerca 0.4%, por un año más de edad de la persona que usa dicho sistema.

Por lo tanto, el modelo estimado para el impacto económico queda definido así:

$$\widehat{e1} = 4.04 e3 + 3.25 e6 + 2.25 e7 + 3.80 e8 - 4.79 e13 + 3.15 a48 + 0.17 ed \quad (12)$$

5.6.2 Factor Ambiental

De la muestra representativa de 80 hogares de Hato-Corozal, Casanare, para la estimación del modelo del factor ambiental, sólo se trabajó con 74 personas, ya que existía información faltante en algunas de las variables seleccionadas para la estimación de la variable impacto ambiental ($a44$), por lo cual la información de 5 personas se eliminó.

Para la estimación de la variable de impacto ambiental, se seleccionó de la encuesta aplicada a las familias, las siguientes variables explicativas, como se indica en la Tabla 8.

Tabla 8. Variables Regresoras, factor impacto ambiental.

Pregunta	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
¿Considera que ha habido mejoras en la gestión, recolección y tratamiento de residuos, incluyendo reutilización y reciclaje, después de la implementación de los paneles solares?	<i>a49</i>	Politómica	{ Muy en desacuerdo= 1 Otros= 0
¿Usted considera que se ha logrado una reducción en la exposición al humo, ruido y / u olores gracias a los paneles solares?	<i>a50</i>	Politómica	{ De acuerdo= 1 Otros= 0
¿Considera que ha reducido el riesgo de incendio y explosión gracias a los paneles solares?	<i>a51</i>	Politómica	{ Muy de acuerdo= 1 Otros= 0
¿Usted considera que se ha reducido en el número de enfermedades transmitidas por insectos, debido a la implementación de paneles solares?	<i>a52</i>	Politómica	{ Muy de acuerdo= 1 Otros= 0
¿Cuándo prepara su comida, que tipo de material de combustión usas?	<i>a55</i>	Politómica	{ Gas= 1 Otros= 0

Pregunta	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
¿Usted calificaría que hoy el acceso al servicio del agua ha mejorado, teniendo en cuenta la implementación de los paneles solares?	<i>s25</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿El suministro de energía es suficiente para cubrir todas sus necesidades?	<i>e8</i>	Politómica	$\begin{cases} \text{De acuerdo} = 1 \\ \text{Otros} = 0 \end{cases}$
¿Cuánto dinero mensual, estima ha podido ahorrar desde que se instaló el sistema de paneles solares?	<i>e13</i>	Cuantitativa	Para el modelo se usará el logaritmo natural de dicho valor.
Edad (De la persona que contestó la encuesta)	<i>ed</i>	Cuantitativa	

Fuente: Autores

La siguiente tabla presenta los *p*-valores para cada una de las variables de la Tabla 8, que se seleccionaron como explicativas de la variable independiente de impacto ambiental

Tabla 9. p -valores variables regresoras factor ambiental.

Variable dependiente $\alpha 44$	Coef.	Std. Err.	z	$p > z$	[80% Conf.Interval]	
$\alpha 49$	-2.82	1.50	-1.88	0.06	-4.73	-0.90
$\alpha 50$	2.10	1.41	1.49	0.14	0.29	3.90
$\alpha 51$	1.82	1.38	1.31	0.19	0.04	3.59
$\alpha 52$	-0.53	1.41	-0.38	0.71	-2.33	1.28
$\alpha 55$	0.72	1.16	0.62	0.54	-0.78	2.21
$s25$	-4.25	1.65	-2.58	0.01	-6.36	-2.14
$e8$	3.29	1.31	2.51	0.01	1.61	4.97
ed	-0.05	0.06	-0.84	0.40	-0.14	0.03
$e13$	-0.59	1.55	-0.38	0.71	-2.57	1.40
_cons	11.37	17.80	0.64	0.52	-11.44	34.19

Fuente: Autores

Con base en la Tabla 8, y partiendo del hecho que el nivel de significancia del modelo es de $\alpha = 20\%$, se concluye que, de las variables seleccionadas, las únicas que son estadísticamente significativas y explicativas para la variable impacto ambiental, son: $\alpha 49$, $\alpha 50$, $\alpha 51$, $s25$ y $e8$, dado que los p -valores (información de la 5 columna de la tabla), son menores 20%, que es el nivel de significancia.

Ahora bien, para el caso de la variable $\alpha 49$ esta es negativa y estadísticamente significativa, lo cual implica que el hecho que una persona esté en desacuerdo en que ha existido mejoras

en la gestión, recolección y tratamiento de residuos, después de la implementación de los paneles solares, disminuye la probabilidad de que esta persona considere que este sistema de energía fotovoltaico impacte positivamente el medio ambiente de su región.

La variable α_{50} , es positiva y estadísticamente significativa, así si una persona está de acuerdo en que gracias a los paneles solares se la logrado la reducción en la exposición al humo, ruido y/u olores, aumenta la probabilidad de que esta persona considere que este sistema de energía fotovoltaico impacte positivamente el medio ambiente de su región.

La variable α_{51} , es una variable para esta estimación estadísticamente significativa y positiva, por lo tanto, si una persona está muy de acuerdo en que desde la instalación del sistema de energía fotovoltaico se ha reducido el riesgo de incendio y de explosión, se aumenta la probabilidad de que esta persona considere que dicho sistema de energía impacta positivamente el medio ambiente de la región.

Para el caso de s_{25} la cual es negativa y estadísticamente significativa, la probabilidad de que esta persona considere que el sistema de energía fotovoltaica impacta positivamente el medio ambiente de la región disminuye, si la persona afirma que desde la implementación de dicho tipo de energía sí se ha mejorado el acceso al servicio del agua. El valor negativo es debido a que no se implementaron estos sistemas fotovoltaicos para el acceso al servicio del agua.

Finalmente, $e8$ es positiva y estadísticamente significativa, por lo tanto, si una persona afirma que el actual suministro de energía sí es suficiente para suplir todas sus necesidades, la probabilidad de que esta persona afirme que la implementación de los paneles solares ha impactado positivamente la economía de su región, aumenta. Los anteriores cambios de las variables estadísticamente significativas, se da en promedio y ceteris paribus.

Ahora bien, en la siguiente tabla se encuentran los Odds Ratio (relaciones de probabilidad) y los efectos marginales (dy/dx), para todas las variables estadísticamente explicativas de $a44$ (Impacto ambiental).

Tabla 10. Odds Ratio y efectos marginales, variables explicativas factor impacto ambiental.

Variable dependiente $a44$	Odds Ratio	dy/dx
$a49^*$	0.060	-0.134
$a50^*$	8.154	0.118
$a51^*$	6.149	0.076
$a52^*$	0.590	-0.022
$a55^*$	2.049	0.034
$s25^*$	0.014	-0.588
$e8^*$	26.929	0.133
ed	0.947	-0.002
$e13$	0.556	-0.024
_cons	86784.050	

(*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

Fuente: Autores

La probabilidad de que una persona de Hato-Corozal considere que el sistema de energía fotovoltaico impacta positivamente el medio ambiente de su región, disminuye en cerca del 13.4 %, si esta persona está en desacuerdo en que ha existido mejoras en la gestión, recolección y tratamiento de residuos.

Una persona que esté de acuerdo que con la instalación de los paneles solares en Hato Corozal se ha logrado una disminución en la exposición al humo, ruido y/u olores ($\alpha 50^*$), tiene alrededor de 8 opciones más de considerar que la implementación de este sistema de energía ha impactado positivamente el medio ambiente de su región, frente a una persona que no esté de acuerdo con esto.

La probabilidad de que una persona de Hato-Corozal, afirme que la instalación de energía fotovoltaica ha impactado positivamente el medio ambiente de su región, aumenta en mínimo 7.6%, cuando esta persona está muy de acuerdo en que con base en este sistema de energía se ha reducido el riesgo de incendio y explosión.

La probabilidad de que una persona, considere que con la implementación de paneles solares se ha impactado positivamente el medio ambiente de la región, disminuye cerca del 58.8% si esta persona, considera que hoy el acceso al servicio del agua ha mejorado, a partir de la instalación del sistema de energía.

Por último, una persona que considere el suministro de energía hoy es suficiente para cubrir todas sus necesidades tiene alrededor de 27 veces más opciones ($e8^*$), en afirmar que los paneles solares han impactado positivamente el medio ambiente de su región, frente a una persona que no considere que dicho suministro de energía no es suficiente.

Por lo tanto, el modelo estimado para el impacto ambiental queda definido así:

$$\widehat{a44} = -2.82 a49 + 2.10 a50 + 1.82 a51 - 4.25 s25 + 3.29 e8 \quad (13)$$

5.6.3 Factor Social

De la muestra representativa de 80 hogares de Hato-Corozal, Casanare, para la estimación del modelo del factor ambiental, sólo se trabajó con 73 personas, ya que existía información faltante en algunas de las variables seleccionadas para la estimación de la variable impacto social ($s44$), por lo cual la información de 7 personas se eliminó.

Para la estimación de la variable impacto social, se seleccionó de la encuesta aplicada a las familias, las siguientes variables explicativas, como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11. Variables regresoras factor impacto social.

Pregunta	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
¿Ha notado una mejora en la calidad del agua que usan en el hogar, después de la implementación de los paneles solares?	s23	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Pueden sus hijos estudiar más tiempo en casa desde que obtuvo acceso a la electricidad, por medio de los paneles solares?	s27	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Considera usted que la implementación de los paneles solares ha ayudado a mejorar el servicio educativo?	s33	Politómica	$\begin{cases} \text{De acuerdo} = 1 \\ \text{Otros} = 0 \end{cases}$
¿Considera que la implementación de este proyecto mediante paneles solares ha generado pérdida de tradiciones en la comunidad?	s35	Politómica	$\begin{cases} \text{En desacuerdo} = 1 \\ \text{Otros} = 0 \end{cases}$
¿Considera que han aumentado las acciones dirigidas a facilitar el empleo de las mujeres, desde la implementación de los paneles solares?	s37	Politómica	$\begin{cases} \text{En desacuerdo} = 1 \\ \text{Otros} = 0 \end{cases}$
Usted calificaría que hoy el acceso al servicio del agua ha mejorado, teniendo en cuenta la implementación de los paneles solares	s25	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$

Pregunta	Nombre de la pregunta en el modelo	Tipo de variable	Codificación de la variable
¿Considera que el uso de los paneles solares ha impactado positivamente su economía?	<i>e1</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿Su número de horas laborales ha disminuido desde que se implementó el sistema de paneles solares?	<i>e6</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
¿El suministro de energía es suficiente para cubrir todas sus necesidades?	<i>e8</i>	Politómica	$\begin{cases} \text{En desacuerdo} = 1 \\ \text{Otros} = 0 \end{cases}$
¿Considera que el uso del sistema de paneles solares ha impactado positivamente el medio ambiente de su región?	<i>a44</i>	Dicotómica	$\begin{cases} \text{Sí} = 1 \\ \text{No} = 0 \end{cases}$
Edad	<i>ed</i>	Cuantitativa	

Fuente: Autores

A partir de la tabla anterior, se hizo la estimación del modelo cuya variable independiente es el impacto social (*s20*), por lo cual, en la siguiente tabla se encuentran los *p*-valores que indicarán cuáles de las variables independientes son significativas con respecto al nivel de significancia seleccionado que es $\alpha = 20\%$.

Tabla 12. *p*-valores variables regresoras factor social.

Variable dependiente s20	Coef.	Std. Err.	<i>z</i>	<i>p</i> > <i>z</i>	[80% Conf. Interval]	
s23	-5.397	2.420	-2.230	0.026	-8.498	-2.296
s27	-2.390	1.327	-1.800	0.072	-4.091	-0.689
s33	-0.243	1.035	-0.240	0.814	-1.570	1.083
s35	-3.967	1.773	-2.240	0.025	-6.239	-1.695
s37	1.916	1.180	1.620	0.104	0.405	3.428
s25	-0.442	1.439	-0.310	0.759	-2.285	1.402
e1	2.703	1.249	2.160	0.030	1.102	4.303
e6	2.687	1.454	1.850	0.065	0.824	4.550
e8	-0.883	0.982	-0.900	0.368	-2.142	0.375
ed	0.068	0.046	1.480	0.139	0.009	0.126
a44	-3.493	1.862	-1.880	0.061	-5.879	-1.107
_cons	3.165	3.276	0.970	0.334	-1.033	7.363

Fuente: Autores

La Tabla 12, permite visualizar que las variables estadísticamente significativas para la estimación del factor social son: *s23*, *s27*, *s35*, *s37*, *e1*, *e6*, *ed*, y *a44* Ya que todos los *p*-valores de cada una de estas variables son menores a nivel de significancia que como ya se dijo es del 20%.

La variable *s23*, es una variable negativa y estadísticamente significativa para esta muestra, así si una persona considera que desde la implementación de paneles solares si ha notado

una mejora en la calidad del agua, la probabilidad de que esta persona afirme que la implementación de este sistema de energía ha mejorado su calidad de vida, disminuye. Esta respuesta es subjetiva, dependiendo qué significa para ellos mejora en la calidad de vida.

La variable s_{27} , es negativa y estadísticamente significativa. Por lo tanto, la probabilidad de que una persona considere que la implementación de paneles solares ha impactado positivamente la calidad de vida de su familia, disminuye, si esta persona considera que desde que usan en su hogar los paneles solares, sus hijos pueden estudiar más tiempo. Esto está relacionado con la falta de escuelas y centros de enseñanza en estas veredas tan distantes, falta de medios de transporte y daños frecuentes en las vías sin asfaltar.

La probabilidad de que una persona considere que la implementación de paneles solares ha impactado positivamente la calidad de vida de su familia, disminuye, si la persona está en desacuerdo en considerar que este sistema de energía ha generado pérdida de tradiciones en la comunidad, lo anterior efecto de que s_{35} es negativa y estadísticamente significativo.

La variable s_{37} , es significativa y positiva, por lo cual tiene una relación fuerte con la probabilidad de que una persona afirme que la implementación de los paneles solares impacta positivamente su calidad de vida, si esta persona está en desacuerdo en considerar que desde que empezó a usar este tipo de energía en su hogar se han aumentado las acciones para facilitar el empleo de las mujeres.

La variable $e1$, es positiva y estadísticamente significativa, así una persona que considere su economía se ha visto impactada positivamente desde la implementación de los paneles solares, así la probabilidad de que esta persona considere que dicho sistema de energía ha impactado positivamente su calidad de vida aumenta.

La variable $e6$, es positiva y estadísticamente significativa, por lo cual, si una persona que considere que sus horas laborales han disminuido desde la implementación de los paneles solares, entonces la probabilidad de que esta persona considere que dicho sistema de energía ha impactado positivamente su calidad de vida, aumenta.

El signo positivo y significancia de ed , que corresponde a la edad, sugiere que un año más de edad en una persona que accede al sistema de energía fotovoltaica, hará que se aumente la probabilidad de que dicha persona considere que este sistema ha impactado positivamente su calidad de vida.

Finalmente, si una persona considera que el sistema de energía fotovoltaico ha impactado positivamente el medio ambiente, la probabilidad de que esta persona afirme que este sistema también ha impactado positivamente su calidad de vida disminuye, lo cual es resultado del signo del coeficiente de la variable $a44$. Aunque logren recibir energía eléctrica aún no tienen acceso a medios de comunicación, internet, telefonía, necesitan suplir más necesidades básicas para mejorar su calidad de vida.

Ahora bien, con base en lo anterior, en la siguiente tabla se presentan los Odds Ratio (relaciones de probabilidad) y los efectos marginales (dy/dx), para todas las variables estadísticamente explicativas de $s20$ (Impacto social).

En la Tabla 13, por ejemplo, que la probabilidad de que una persona considere que el sistema de energía fotovoltaica ha impactado positivamente su calidad de vida disminuye en por lo menos el 87.39%, si esta persona ha notado que la calidad del agua ha mejorado desde la implementación del sistema.

Tabla 13. Odds Ratio y efectos marginales, variables explicativas factor impacto ambiental

Variable dependiente $s20$	Odds Ratio	dy / dx
$s23^*$	0.0045	-0.8739
$s27^*$	0.0917	-0.1675
$s33^*$	0.7840	-0.0195
$s35^*$	0.0189	-0.2524
$s37^*$	6.7955	0.1338
$s25^*$	0.6430	-0.0379
$e1^*$	14.9219	0.4223
$e6^*$	14.6910	0.1206
$e8^*$	0.4133	-0.0697
ed	1.0699	0.0051
$a44^*$	0.0304	-0.1327
_cons	23.6872	

(*) dy / dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

Fuente: Autores

Una persona que considere que, desde la implementación de los paneles solares, sus hijos pueden estudiar más tiempo, tiene cerca de 9 opciones menos de afirmar que este sistema de energía ha impactado positivamente su calidad de vida, frente a una persona que afirme lo contrario.

Si una persona está en desacuerdo en considerar que el proyecto de energía fotovoltaica ha generado pérdida de tradiciones en la comunidad, entonces la probabilidad de que esta persona afirme que dicho sistema de energía ha impactado positivamente su calidad de vida disminuye en cerca del 25%.

Si una persona usuaria de los paneles solares en Hato-Corozal, considera que este sistema ha impactado positivamente su economía y ha contribuido a disminuir su número de horas laborales, entonces la probabilidad de que esta persona considere dichos paneles impacta su calidad de vida, incrementará en por lo menos 42 % y 12 %, respectivamente.

Un año adicional de edad, provocará que la probabilidad que una persona de Hato-Corozal que usa el sistema de paneles solares considere estos afectan positivamente su calidad de vida, aumente en por lo menos el 0.05%.

Por lo tanto, el modelo estimado para el impacto social queda definido así:

$$s20 = -5.397 s23 - 32.390 s27 - .967 s35 + 1.916 s37 + 2.703 e1 + 2.687 e6 + 0.068 ed - 3.493 a44 \quad (14)$$

Finalmente, es importante acotar que todos los tres modelos tuvieron una buena bondad de ajuste, así, según el Test de esta clasificación, el porcentaje de predicción sobre el total de los datos de cada uno de los modelos fue: 89.19% (modelo impacto económico), 91.89% (modelo impacto ambiental) y 83.82% (modelo impacto social)

A partir de estos tres modelos el IPSE podrá analizar los resultados obtenidos de las encuestas realizadas en estos proyectos ex post y crear planes de mejoramiento para corregir las fallas o debilidades presentes. Además, podrá aplicar encuesta para proyectos ex ante y así poder predecir si el proyecto logrará tener gran impacto económico, social y ambiental en el lugar de aplicación.

6. Conclusiones y limitaciones

6.1 Conclusiones:

El modelo aplicado en este estudio es probabilístico por las variables que en su mayoría son cuantitativas. Los modelos de regresión lineal contribuyen al análisis de una variable dependiente, medido en una escala de intervalo (cuantitativa) en función de variables explicativas medidas también en la misma escala. Con este proyecto se logra aplicar un modelo de regresión que permite estudiar variables nominales u ordinales en función de variables cuantitativas, y considerar también variables cualitativas a través de este se obtienen tres ecuaciones que relacionan las variables más significativas en cada factor económico, social y ambiental, contribuyendo de esta forma a la toma de decisiones, para la implementación de proyectos energéticos ex ante y ex post en Colombia, Propósitos direccionados por

el IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas)

El modelo arroja probabilidades positivas y negativas, con estos resultados se debe entonces buscar estrategias o planes de mejoramiento para obtener un coeficiente positivo cada vez más grande y tratar de reducir el coeficiente negativo. En algunos casos se pueden obtener valores o coeficientes negativos inesperados al evaluar los impactos de cada factor, esto se da porque algunas preguntas no son muy claras, contienen palabras que pueden ser subjetivas o son palabras técnicas y desconocidas.

El empoderamiento de la comunidad en términos del uso y buen manejo de un recurso como los paneles solares, no presenta gran impacto, las alternativas expuestas por los líderes del proyecto no son las más efectivas debe implementarse un mejor método para llegar a la comunicad con una comunicación más efectiva.

La medición de impacto ambiental, social y económica revela la necesidad de mejorar el aspecto social, la comunidad no evidencia de forma clara las opciones que una alternativa como la implementación de paneles solares se manifiesta en el mejoramiento de las condiciones de núcleo familiar.

La implementación de programas que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de la población es sin duda fundamental y debe convertirse en proyecto pilar de cualquier política pública municipal o departamental, pero no solo la implementación; la construcción de métodos

que permitan estimar el impacto de este es necesario esto contribuye a establecer medida de mejoramiento y evitar pérdidas económicas.

En el año 2016 se realiza una encuesta para medir la estratificación social de la población beneficiada con electrificación a través de sistemas solares fotovoltaicos en Hato Corozal, Casanare; y de esta manera tener una evaluación ex ante de un proyecto de este tipo con recursos del estado y supervisado por el IPSE se pudo determinar que estas familias viven en condiciones muy vulnerables, el agua la extraen de pozos profundos y no le realizan ningún proceso para purificarla, cocinan con gas o leña, los techos de las casas son en palma o zinc, no tienen equipos electrónicos, no cuentan con celular y usan lámparas de kerosene, velas y linternas para iluminación.

En el año 2019 se realiza otra encuesta para evaluar los impactos ambiental, económico y social de proyectos de electrificación solar fotovoltaica en Colombia. Con el apoyo del IPSE se determinan las variables de cada impacto (económico, ambiental social y empoderamiento) sus indicadores y las preguntas. A través de esta se elabora un modelo matemático y estadístico que permite predeterminar los impactos ex ante (anterior a la realización del proyecto) teniendo en cuenta unas variables cuantitativas y cualitativas con diferente grado de relevancia. El modelo matemático y estadístico se realiza en el software Stata.

La intención del diseño de encuestas se genera a partir de la necesidad de mediar las relaciones entre variables, en este caso datos que responden a áreas que involucran el impacto de planes ambientales, sociales y económicos. Para consolidar los objetivos de diseño de estas se recomienda evitar la aplicación de un muestreo por conveniencia y recurrir a una alternativa que permita garantizar la confiabilidad en la consolidación del análisis de la misma y contribuir en la parte del desarrollo descriptivo e inferencial. El diseño del instrumento es tan solo el medio de recolección de información, este conlleva a requerir que el proceso de encuestado sea lo más riguroso posible. Cumplir con los límites de tamaños muestrales establecidos previamente es necesario, esto permite mejorar la confiabilidad de los resultados.

Desde la implementación de los paneles solares está claro que ha evidenciado un aumento en la mejora de las condiciones sociales del municipio, esto en razón a que cada núcleo familiar considera que se ha evidenciado un ahorro en dinero en su hogar, así como un aumento o rendimiento en los cultivos; además de que la instalación de este tipo de energías alcanza plenamente a cubrir todas sus necesidades. El impacto ambiental presenta una mejora en términos que la gente identifica positivamente la gestión en la recolección y tratamiento de residuos, incluyendo reutilización y reciclaje, después de la implementación de los paneles solares, esto explicado por la implementación de los paneles solares.

La mayor parte de la población encuestada pertenece al género masculino, y en su gran parte son los jefes de hogar,

la implementación de este proyecto se presenta a su vez como una posibilidad de mejoramiento laboral para el género femenino. La edad de los beneficiados se debe incluir en el modelo matemático estadístico porque esta puede generar algún efecto. El modelo obtenido da un ajuste de bondad alto.

6.2 Limitaciones:

- Las épocas fuertes de lluvia generan inundaciones y daños en las vías lo que impide el paso en vehículo a los sitios o viviendas donde se instalaron estos sistemas.
- Algunas de las personas encuestadas no respondieron algunas preguntas, por motivos ajenos.
- La distancia entre veredas es muy extensa lo que dificulta el acceso a estas viviendas.
- No existe información documental de modelos matemáticos o estadísticos para este tipo de proyectos, solo existen algunas metodologías o análisis estadístico de evaluación de impactos ambientales, sociales y económicos.

Referencias bibliográficas

Arango, L. (2008). Clima de Colombia. Obtenido de: <https://web.archive.org/web/20080529034721/http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/geografia/geo34.htm>

Arias-Hernández, J. S., & Torres-Naranjo, M. A. (2017). Modelo de medición de impacto para los proyectos sociales de la facultad de Ingeniería en la Universidad Católica de Colombia.

Billorou, N., Pacheco, M., & Vargas, F. (2011). Guía para la evaluación de impacto de la formación, pág. 50.

Boyd, E., Gutiérrez, M., Chang, M. (2007). Small-scale forest carbon projects: Adapting CDM to low-income communities. *Global Environmental Change* 17, 250– 259.

Caracheo, F. (2002). Modelo educativo (propuesta de diseño). Dirección General de Institutos Tecnológicos.

Coordinación Sectorial de Normatividad Académica. México:
CIDET.

Casanare. (2016). 206 sistemas fotovoltaicos, serán la nueva
alternativa de abastecimiento energético para familias
de Hato Corozal. Obtenido de: [https://www.casanare.gov.
co/?idcategoria=45388](https://www.casanare.gov.co/?idcategoria=45388)

Casanare. (2012). Plan de Desarrollo Departamento de
Casanare 2012-2015: PD Departamento de Casanare 2012-
2015.

Castillo, L. T. D., & Velandia, Y. A. U. (2018). Viabilidad
económica de la implementación de paneles fotovoltaicos
como alternativa para la red de distribución eléctrica
tradicional. *Dinámica ambiental*, (2), 81-89.

Collantes, F., Pinilla, V., Sáez, L. A., & Silvestre, J. (2014).
Reducing depopulation in rural Spain: the impact of
immigration. *Population, Space and Place*, 20(7), 606-621.

Coneval, C. N. (2013). Guía para la elaboración de la matriz de
indicadores para resultados.

Corpoema, C. E. (2010). Formulación de un plan de desarrollo
para las fuentes no convencionales de energía en Colombia
(PDFNCE). UPME, Colombia.

Cuadras, C. M. (1996). Nuevos métodos de análisis
multivariante. Barcelona, Spain: CMC Edicions.

De Medina, R. D. (2004). Manual para la evaluación de impacto en programas de formación para jóvenes.

DIFP. (2013). Manual de Soporte Conceptual Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos. Dirección de Inversiones y Finanzas Públicas Recuperado de: [http://www. itc. edu. co/archives/ investigacion/ManualConceptual. pdf](http://www.itc.edu.co/archives/investigacion/ManualConceptual.pdf).

DNP. (2018). Informe de Rendición de Cuentas Construcción de Paz 2016-2018. Obtenido de: [https://www.dnp.gov. co/DNP/gestion/mecanismos-de-control-y-rendicion-de-cuentas/Paginas/Informe-de-Rendici%C3%B3n-de-Cuentas-Construcci%C3%B3n-de-Paz.aspx](https://www.dnp.gov.co/DNP/gestion/mecanismos-de-control-y-rendicion-de-cuentas/Paginas/Informe-de-Rendici%C3%B3n-de-Cuentas-Construcci%C3%B3n-de-Paz.aspx)

Domenech Léga, B. (2013). Metodología para el diseño de sistemas de electrificación autónomos para comunidades rurales. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya.

Elorza Pérez-Tejada, H. (2008). Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud. Cengage learning.

Esteve, N. (2011). Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica. Trabajo de grado de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

EVPA-AEF. (2015). Guía práctica para la medición y la gestión del impacto. Madrid: Editado por la Asociación Española de Fundaciones. I.S.B.N.: 978-84-697-2198-8

Fernández Eduardo, R., Navarro Jorge, A., & Olmedo Rafael, A. (2004). Modelos y herramientas computacionales para el análisis de proyectos y la formación de carteras de I&D. *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, 1(1), 59-64. FERNÁNDEZ, E. R. (2004).

Fernández García, L. (2014). Evaluación de los co-beneficios sobre el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza de proyectos de mitigación del cambio climático en Brasil (Doctoral dissertation, Industriales).

Flórez, B. M. (2016). Caracterización de módulos fotovoltaicos. reporte de la práctica 1.

Gómez Ramírez, J. (2017). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas.

Hernández-Moreno, S., & Ramírez, E. R. (2019), Theoretical-experimental and finite element analysis of a beam in plastic-elastic deformation. *Volumen 10, Issue 12, December 2019*, pp. 700-715, Article ID: IJMET_10_12_060

IPSE. (2016). Procedimiento proyectos de inversión. IPSE.

Jiménez, B. M., & Gómez, C. X. (1996). Evaluación de la calidad de vida. *Manual de evaluación en psicología clínica y de la salud*. Madrid: Universidad Autónoma.

Juanico, L. E., & Rinalde, G. F. (2010). Análisis comparativo de paneles termoeléctricos y fotovoltaicos para electrificación de hogares aislados.

- Laborde & Roberto, J. W. (2016). *Energía Solar*. Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, ANCEFN.
- Lillo, P., Ferrer-Martí, L., Fernández-Baldor, Á., & Ramírez, B. (2015). A new integral management model and evaluation method to enhance sustainability of renewable energy projects for energy and sanitation services. *Energy for Sustainable Development*, 29, 1-12.
- Mohajer, C., & Göras, A. (2016). Impacts of solar energy projects in rural areas-A case study in Kenya (Master's thesis). Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology.
- Moral, E. M. (2003). El uso de los modelos de elección discreta para la predicción de crisis cambiarias el caso latinoamericano (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Madrid).
- Muñoz, R. P., Pérez, Y. M., Cudeiro, Y. A., & Domínguez, M. D. C. A. (2012). La visión del desarrollo humano y la calidad de vida en comunidades rurales. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (166).
- Núñez, J. A. (2015). Plan de desarrollo municipal. Municipio de Hato Corozal. Obtenido de: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/hatoCorozalcasanarepd20122015.pdf>

Peláez, P. D. (2019). Estudios de Impacto Económico. Cómo valorar la repercusión y el retorno de iniciativas e inversiones públicas. Obtenido de: <https://www.pwc.es/es/sector-publico/.../brochure-estudios-impacto-economico.pdf>

Pérez, A., Chacón, S., & Moreno, R. (2000). Validez de constructo: El uso del análisis exploratorio-confirmatorio para obtener evidencia de validez. Universidad de Sevilla.

Pérez, J. y Gardey, A. (2012). Definición de modelo matemático. Obtenido de: <https://definicion.de/modelo-matematico/>

Pucutay, F. (2002). Los modelos logit y probit en la investigación social. Centro de investigación y desarrollo del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI). Lima, Perú.

Ramírez, A. E. N. (1996). Aplicación de algunos modelos matemáticos a la toma de decisiones. *Política y Cultura*, (6), 183-198.

Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería*, (28), 83-89.

Rodríguez, R., & Cobas, M. (2012). Metodología de evaluación de impactos de proyectos de investigación. Recuperado de: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/078/45078486.pdf.

- Rúa, E., González, A., Granados, A., & Ramírez, R. (2019). Diseño estructural de transporte para sistema de bombeo portátil activado con energía solar fotovoltaica para el departamento de Boyacá. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 9(2).
- Rúa Ramírez, E. B., Barrera Siábato, A. I., & Gómez Orduz, M. (2017). Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1).
- Rúa-Ramírez, E., Mendoza-Jiménez, I., Torres-Suárez, E., Flórez-Serrano, E., & Serrano-Rico, J. (2021). Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos. *Revista UIS Ingenierías*, 20(2), 1-10.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176.
- Sández, S. (2013). Modelo para el Diseño y Evaluación del Impacto en el Desarrollo Humano en Proyectos de Energías Renovables y Eficiencia Energética (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).
- Sirohi, S. (2007). CDM: Is it a 'win-win' strategy for rural poverty alleviation in India?. *Climatic Change*, 84 (1), pp. 91-110.
- Soto, H. (2010). Técnicas estadísticas de evaluación de impacto socioeconómico de políticas públicas y programas sociales.

México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Sutter, C. (2003). Sustainability Checkup for CDM projects: How to assess the sustainability of international projects under the Kyoto Protocol. ETH Zurich.

Torres, F. (2016). Análisis del marco normativo del sector eléctrico colombiano, impactos en la regulación eléctrica de la ley 1715 de 2014. Universidad Nacional de Colombia. -Tesis, 216. Fernández, F. R. (2016)

Torres, A. H. (2017). Tesis Doctoral. Modelo de medición de impacto para los proyectos sociales de la facultad de Ingeniería en la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, D.C. Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Twenergy. (2019). Electrificación Sostenible en Zonas Rurales de Colombia. Obtenido de: <http://www.generamos.co/project/electrificacion-sostenible-colombia/twenergy.com/>. (10 de octubre de 2017).

UPME (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Unidad de Planeación Minero Energética. Obtenido de: <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1311> B.I. de Desarrollo, U. d. (2015).

Valdés, M. (2009). La evaluación de impacto de proyectos sociales: Definiciones y conceptos. revista electrónica Mapunet, Santiago de Chile. Recuperado de https://www.mapunet.org/documentos/mapuches/Evaluacion_impacto_de_proyectos_oficiales.pdf.

Vicuña, D. M., & Pizarro, J. E. (2015). Electricidad, desarrollo rural y buen vivir. In III Simposio Internacional Historia de la electrificación. Estrategias y cambios en el territorio y la sociedad. Ciudad de México.

Villaplana, Á. C. (2013). Teorías y modelos: formas de representación de la realidad. *Revista Comunicación*, 12(1), 33-46.

Vinuesa, P. (2016). Tema 8 - Correlación: teoría y práctica. Obtenido de: <http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/>

World Energy Council. (2006). *Alleviating Urban Energy Poverty in Latin America*.

Anexos

Anexo 1. Cuestionario – Encuesta para medir estratificación y evaluación ex ante.

Encuesta diseñada para medir la estratificación socioeconómica de la comunidad beneficiada por la electrificación con energía solar fotovoltaica en Hato Corozal.

¡Lea con mucha atención cada pregunta antes de responder; su respuesta es muy importante! Agradecemos su colaboración

Fecha: _____

NOMBRES Y APELLIDOS	IDENTIFICACIÓN:	EDAD
MUNICIPIO	DIRECCIÓN	

1. ¿Cuál es el uso de la vivienda o predio?

- a. Residencial
- b. Residencial /comercial
- c. Residencial/cultivo y ganadería
- d. Otro: ¿cuál?: _____

2. ¿Cuál es su estrato económico?

- a. 1 (bajo-bajo)
- b. 2 (bajo)
- c. 3 (medio-bajo)
- d. 4 (medio)

3. ¿En qué material está construida su vivienda?

- a. Sin paredes
- b. Zinc, fibra (lona)
- c. Guadua
- d. Bloque o ladrillo
- e. Madera
- F. Adobe

4. ¿En qué material están contruidos los pisos?

- a. Tierra
- b. Cemento
- c. Baldosa
- d. Otro _____

5. ¿En qué material está construido el techo de su vivienda?

- a. Zinc
- b. Teja Eternit
- c. Palma
- d. Otro _____

6. ¿Cuál es su actividad principal?

- a. Agricultura
- b. Ganadería
- c. Agricultura y ganadería
- d. Ama de casa
- e. Obrero
- f. Comerciante

7. ¿Cuál es su fuente de ingresos?

- a. Venta de productos agrícolas
- b. Ganadería
- c. Agricultura y ganadería
- d. Otra actividad _____

8. ¿Cuál es su ingreso familiar promedio mensual?

- a. Menos de \$150,000
- b. De \$150,000 a \$500,000
- c. De \$500,000 a \$950,000
- d. De \$950,000 a \$ 1'500.000
- e. Más de 1'500.000

9. ¿Cuántas personas dependen económicamente de usted?

1	2	3	4	Más de 4

10. ¿Cuántas personas habitan su vivienda?

1	2	3	4	Más de 4

11. ¿Cuál es la fuente de agua para el consumo humano en la vivienda?

- a. Acueducto municipal
- b. Acueducto veredal
- c. Pozo profundo con bomba
- d. Pozo profundo sin bomba
- e. Quebrada o río
- f. Agua lluvia

12. ¿Cuenta con servicio de alcantarillado? Sí _____ No _____

13. ¿Qué tipo de sanitario usan en la vivienda?

- a. Inodoro al alcantarillado
- b. Inodoro a pozo séptico
- c. Inodoro sin conexión o letrina
- d. No tiene servicio sanitario

14. ¿Cuenta con algún tipo de servicio público?

Sí ____ ¿Cuál? _____ No ____

15. ¿Cuál es el sistema de energía con que cuenta:

- a. SIN ____
- b. Planta eléctrica ____
- c. Solar Fotovoltaica ____
- d. Eólica ____
- e. Otra ____ ¿Cuál? _____ - _____

16. ¿Cuál es su inversión mensual para obtener energía?

\$ _____

17. ¿Qué tipo de equipos eléctricos tiene en su vivienda?

Equipo	Sí	Cantidad	No
Televisor			
Nevera			
Plancha			
Equipo de sonido			
Licuada			
Iluminación			
Bomba de agua			
Ventilador			
Otro:			

18. ¿Con qué fuente de iluminación cuenta su vivienda?

Energía Eléctrica	Cantidad
Lámparas de gas	
Lámparas de gasolina	
Pilas	
Velas	
Otro(cuál)	

19. ¿De qué manera elimina las basuras en la vivienda?

- a. Recolección
- b. Entierran
- c. Queman
- d. Otra, ¿Cuál? _____

20. ¿Conoce o ha escuchado hablar acerca de las energías renovables? Sí _____ No _____

21. ¿Tiene conocimiento alguno acerca de la energía solar fotovoltaica? Sí _____ No _____

22. ¿Cuáles son los aspectos que más le preocuparían a la hora de realizar una instalación que funcione a partir de energías renovables?

- a. No conoce la tecnología _____
- b. Precio elevado _____
- c. Falta de capacitación sobre el tema _____
- d. El Mantenimiento y reparación _____
- e. Todas las anteriores _____

23. ¿Aceptaría recibir capacitación sobre el funcionamiento de la energía solar fotovoltaica?

Sí _____ No _____

24. Una vez capacitado en el funcionamiento de la energía solar fotovoltaica ¿Estaría dispuesto a ser partícipe del proyecto para que tenga un adecuado funcionamiento?

Sí ____ No ____

25. ¿Considera usted que el desarrollo de este proyecto para su comunidad es?

5. Muy Bueno ____ 4. Bueno ____ 3. Regular ____
2. Malo ____ 1. Muy Malo ____

26. Según su criterio; ve la implementación de energía solar como una solución adecuada al problema energético de su vivienda. Sí ____ No ____

27. ¿Cree que la electrificación con energía solar fotovoltaica puede mejorar su calidad de vida?

Sí ____ No ____

28. ¿Por qué razón le gustaría la instalación de energía solar fotovoltaica?

a. Por economía ____ b. Acceso a la energía eléctrica ____
c. Por el impacto ambiental ____ d. Todas las anteriores ____

29. Después de tener conocimiento de la energía solar fotovoltaica ¿Estaría dispuesto a ser un promotor de este tipo de energía? Sí ____ No ____

30. ¿Estaría dispuesto a pagar un servicio energético, obtenido mediante la energía solar? Sí ____ No ____

Anexo 2.

Cuestionario encuesta para elaboración del modelo de evaluación de impactos

1. OBJETIVO

Recolectar información útil para la construcción de un modelo que evalúa el impacto social, económico y ambiental de proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para viviendas ubicadas en zonas no interconectadas a la red, en Hato Corozal, municipio de Casanare (Colombia).

2. METODOLOGÍA

El formulario de la encuesta fue desarrollado durante el año 2019, en el programa de Doctorado en proyectos con especialidad en investigación en Desarrollo sostenible y energías renovables. Las preguntas incluidas en la encuesta fueron extraídas de varios instrumentos de carácter internacional, nacional e institucional, entre los que se encuentran la “Evaluación de impacto socioeconómico y ambiental de proyectos de energía solar en zonas rurales de Kenia”, entre otras.

2.1 Ficha Técnica

Periodo de recolección	4, 5 y 6 de octubre de 2019
Universo	Viviendas de Hato Corozal, municipio de Casanare (Colombia).
Población objetivo	La población en este proyecto de investigación hace referencia a las cien (100) viviendas beneficiadas.
Marco muestral	El tamaño de la muestra se empleó un nivel de confianza de 95% con un margen de error del 5%, lo cual estableció 80 viviendas.
Método de recolección de datos	Encuesta por medio personal
Tipo de muestreo	Muestreo por autoselección
Descripción de la encuesta	La encuesta indaga sobre los siguientes bloques temáticos: Información de tipo económico, social y ambiental referente al impacto de la implementación paneles fotovoltaicos (PV) como una opción renovable para proveer electricidad a hogares rurales aislados.
Medios de difusión	Personal
Herramienta de desarrollo	Stata, R-Studio y Spss

2.2 Advertencia para el uso de los resultados obtenidos aquí o para análisis posteriores

Todos los resultados y conclusiones de los análisis realizados son válidos únicamente para el grupo de viviendas que respondieron la encuesta, dado que éstos no constituyen una muestra probabilística. Adicionalmente, por razones prácticas en la mayoría de los casos se utilizaron porcentajes para los análisis, pero debe tenerse en cuenta que en algunos casos dichos porcentajes pueden corresponder a pocos individuos, razón por la que se anexan las tablas con las cifras absolutas para consultas detalladas.

2.3 Encuesta

La encuesta indaga sobre tres bloques temáticos con 57 preguntas obligatorias que se describen a continuación.

ENCUESTAS PARA EVALUAR EL IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE PROYECTOS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA VIVIENDAS AISLADAS, EN HATO COROZAL MUNICIPIO DE CASANARE (COLOMBIA)

Nombre			Edad		
Número de personas que viven en el hogar			Género	Femenino	Masculino
¿Es usted jefe de hogar?	Sí	No	Área	Rural	Urbana
Nivel de Escolaridad	Ninguno		Estado civil	Conviviente	
	Bachillerato			Casado	
	Técnico/ Tecnólogo			Viudo	
	Universitario			Divorciado	
	Posgrado			Separado	
Número de años de estudio					

1. IMPACTO O DIMENSIÓN ECONÓMICA

		Sí	No
1	¿Considera que el uso de los paneles solares ha impactado positivamente su economía?		
2	Desde la implementación de los paneles solares ¿usted ha creado o posee actualmente un proyecto productivo el cual vincule directamente esta actividad?		
3	¿Ha ahorrado dinero, desde que implementó el uso de los paneles solares?		
4	Con la implementación del proyecto de los paneles solares ¿usted considera que se ha aumentado el número de infraestructuras como resultado del proyecto como carreteras, puentes, centros comunitarios, colegios, centros de salud, salones o kioscos?		
5	¿En el último mes usted estuvo empleado, o recibió algún beneficio económico del gobierno por su labor?		
6	¿Su número de horas laborales ha disminuido desde que se implementó el sistema de paneles solares?		
7	¿Recibió capacitación sobre nuevas tecnologías específicamente sobre las ventajas y desventajas del uso de paneles solares?		

		Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
8	¿El suministro de energía es suficiente para cubrir todas sus necesidades?				
9	¿Considera que el municipio ha tenido mejoras económicas desde la implementación de los paneles solares?				
10	¿Considera que el sistema de pago del servicio de energía es el adecuado?				

11	¿A qué se dedica actualmente?	
12	¿Cuántas horas trabaja en promedio durante el día?	
13	¿Cuánto dinero mensual, estima ha podido ahorrar desde que se instaló el sistema de paneles solares?	
14	¿Cuál es el consumo de kilovatios promedio por mes en su hogar? (verificar en el recibo mensual)	
15	¿Cuál es el costo promedio que paga actualmente por el servicio de energía? (verificar en el recibo mensual)	
16	¿Libre de descuentos, cuál fue el salario mensual ganado en el último mes?	
17	Enuncie sólo un sector económico que considere se hubiese reactivado desde la implementación de los paneles solares	
18	¿Cuál es el uso primario que le da al sistema de paneles solares?	Agricultura
		Hogar
		Comercio
		Comunicación
		Estudio
19	¿En cuál de las siguientes actividades desarrollada en su hogar considera hace mayor uso de energía mediante paneles solares?	Trabajo
		Recreación
		Sanitario
		Vivienda

2. IMPACTO O DIMENSIÓN SOCIAL

		Sí	No	
20	¿Considera que el uso de paneles solares impactan positivamente en la calidad de vida de su familia?			
21	¿Ha notado algún cambio en su seguridad y la seguridad de su comunidad, después de la instalación de los paneles solares?			
22	¿Evidencia algún cambio en la cantidad de agua disponible, después de la implementación de los paneles solares?			
23	¿Ha notado una mejora en la calidad del agua que usan en el hogar, después de la implementación de los paneles solares?			
24	¿En su hogar poseen algún método de purificación del agua para consumo?, si es afirmativa su respuesta cuál es el método?			
25	¿Usted calificaría que hoy el acceso al servicio del agua ha mejorado, teniendo en cuenta la implementación de los paneles solares?			
26	¿Actualmente sus hijos asisten a la escuela?			
27	¿Pueden sus hijos estudiar más tiempo en casa desde que obtuvo acceso a la electricidad, por medio de los paneles solares?			
28	¿Tiene un teléfono móvil?			
29	El teléfono móvil con el que actualmente cuenta ¿lo adquirió desde la instalación de los paneles solares?			
30	¿Posee servicio de internet y este ha sido adquirido desde la implementación de los paneles solares?			
31	¿Puede decir que la implementación del sistema de paneles solares lo ha impulsado a comprar electrodomésticos o equipos de comunicación para su hogar?			
32	¿Usted o alguien de su familia ha tenido problemas de salud durante los últimos años?			

		Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De Acuerdo	Muy de acuerdo
33	¿Considera usted que la implementación de los paneles solares ha ayudado a mejorar el servicio educativo?				
34	¿Considera que ha dado un aumento en el número de personas con acceso a agua potable?				
35	¿Considera que la implementación de este proyecto mediante paneles solares ha generado pérdida de tradiciones en la comunidad?				
36	¿Considera que han aumentado las acciones dirigidas a facilitar el empleo de personas con discapacidad, desde la implementación de los paneles solares?				
37	¿Considera que han aumentado las acciones dirigidas a facilitar el empleo de las mujeres, desde la implementación de los paneles solares?				
38	¿Con la implementación del sistema de energía, considera que las opciones laborales en la región se han incrementado?				

39	¿Cuántas horas de estudio hacen sus hijos por día en la casa?	
40	¿Cuántas veces al mes asiste a control de medicina?	
41	¿Cuántas veces al mes asiste a control de Odontología?	
42	¿Qué enfermedad ha contraído, después de la implementación de los paneles solares?	
43	¿Cuántas veces a la semana accede a internet?	

3. IMPACTO O DIMENSIÓN AMBIENTAL

		Sí	No
44	¿Considera que el uso del sistema de paneles solares ha impactado positivamente el medio ambiente de su región?		
45	¿Desde la implementación de los paneles solares se hace un uso más efectivo de los recursos locales, fuentes de energía, materias primas, como menos desperdicio de agua, mejor uso de residuos agrícolas, entre otra?		
46	¿La calidad del aire interior de su casa tuvo una mejora, desde que se implementó los paneles solares en su hogar?		
47	¿La calidad del aire exterior del sector tuvo una mejora, desde que se implementó el sistema de paneles solares?		
48	¿Considera que se ha mejorado en los rendimientos o volumen de los cultivos, después del uso de los paneles solares?		

		Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
49	¿Considera que ha habido mejoras en la gestión, recolección y tratamiento de residuos, incluyendo reutilización y reciclaje, después de la implementación de los paneles solares?				
50	¿Usted considera que se ha logrado una reducción en la exposición al humo, ruido y / u olores gracias a los paneles solares?				
51	¿Considera que ha reducido el riesgo de incendio y explosión gracias a los paneles solares?				
52	¿Usted considera que se ha reducido en el número de enfermedades transmitidas por insectos, debido a la implementación de paneles solares?				

53	¿Cuál es el tipo de iluminación que poseía su hogar, antes de la implementación del sistema de paneles solares?	Electricidad	
		Keroseno(mechero/ lamparín)	
		Petróleo/gas	
		Vela	
		Generador	
		Otro	

54	¿Cuál es el costo mensual que paga por el acceso a la iluminación?		
55	¿Cuando prepara su comida, que tipo de material de combustión usa?		
56	¿De dónde obtuvo este tipo de material, con el que prepara la comida?		
57	¿Cuál es el porcentaje aproximado sobre sus ingresos mensuales que destina para la compra del material de combustión que usa?		
58	¿Cuál es el medio de abastecimiento de agua en su hogar?	Red pública dentro de la vivienda	
		Red pública fuera de la vivienda	
		Pilón de uso público	
		Camión cisterna u otro similar	
		Pozo	
		Bombeo	
	Río, acequia, manantial o similar		
59	¿Podría relacionar una enfermedad, la cual esté ligada a los sustitutos energéticos usados?		

4. DIMENSIÓN EMPODERAMIENTO

		Sí	No
60	¿Usted ha recibido capacitaciones sobre nuevas tecnologías, desde la llegada del proyecto de paneles solares?		
61	¿Usted ha recibido capacitación en el mantenimiento y cuidado que debe hacerse a los paneles solares?		
62	¿Usted fue informado antes de la instalación de los paneles solares?		
63	¿Después de la implementación de los paneles solares ha recibido visitas que le informan referente a las condiciones de los paneles solares?		
64	¿Después de la implementación de los paneles solares, usted ha notado cambio en las formas de comunicación de los habitantes de su comunidad?		
65	¿Existe actualmente espacios de consulta y discusión donde usted tiene la oportunidad de expresar su opinión sobre el uso de los paneles solares?		
66	¿Después de la implementación de los paneles solares se han creado asociaciones o grupos en torno a este tema?		
67	¿Se han realizado acciones para aumentar la conciencia sobre el uso racional de la Energía?		
68	Es positiva su opinión sobre el proyecto en relación con la mejora de sus condiciones de vida		

69	Las capacitaciones que ha recibido han sido mediante	Talleres	
		Seminarios	
		Folleto	
		Jornadas Ambientales	
70	Después de la implementación del sistema de paneles solares, ¿Qué acciones se han dirigido a la educación / capacitación de niños/niñas y jóvenes, mujeres o personas con discapacidades?		

		Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
71	¿Usted ha notado un impacto significativo sobre el rol de los hombres en la comunidad desde la llegada de los paneles solares?				
72	¿Considera que, desde la llegada de los paneles solares, se ha dado una mayor incursión laboral de las mujeres en el mercado laboral en la comunidad?				
73	¿Considera que la implementación del sistema de energía, ha impulsado positivamente el empleo de las personas discapacitadas?				

Anexo 3. Codificación para las preguntas (variables)

Nombre	Pregunta
e1	¿Considera que el uso de los paneles solares ha impactado positivamente su economía?
e2	Desde la implementación de los paneles solares ¿usted ha creado o posee actualmente un proyecto productivo el cual vincule directamente esta actividad?
e3	¿Ha ahorrado dinero, desde que implementó el uso de los paneles solares?
e4	Con la implementación del proyecto de los paneles solares ¿usted considera que se ha aumentado el número de infraestructuras como resultado del proyecto como carreteras, puentes, centros comunitarios, colegios, centros de salud, salones o kioscos?
e5	¿En el último mes usted estuvo empleado, o recibió algún beneficio económico del gobierno por su labor?
e6	¿Su número de horas laborales ha disminuido desde que se implementó el sistema de paneles solares?
e7	¿Recibió capacitación sobre nuevas tecnologías específicamente sobre las ventajas y desventajas del uso de paneles solares?
e8	¿El suministro de energía es suficiente para cubrir todas sus necesidades?
e9	¿Considera que el municipio ha tenido mejoras económicas desde la implementación de los paneles solares?
e10	¿Considera que el sistema de pago del servicio de energía es el adecuado?
e11	¿A qué se dedica actualmente?
e12	¿Cuántas horas trabaja en promedio durante el día?
e13	¿Cuánto dinero mensual, estima ha podido ahorrar desde que se instaló el sistema de paneles solares?

Nombre	Pregunta
e14	¿Cuál es el consumo de kilovatios promedio por mes en su hogar? (verificar en el recibo mensual)
e15	¿Cuál es el costo promedio que paga actualmente por el servicio de energía? (verificar en el recibo mensual)
e16	¿Libre de descuentos, cuál fue el salario mensual ganado en el último mes?
e17	Enuncie sólo un sector económico que considere se hubiese reactivado desde la implementación de los paneles solares
e18	¿Cuál es el uso primario que le da al sistema de paneles solares?
e19	¿En cuál de las siguientes actividades desarrollada en su hogar considera hace mayor uso de energía mediante paneles solares?
s20	¿Considera que el uso de paneles solares impactan positivamente en la calidad de vida de su familia?
s21	¿Ha notado algún cambio en su seguridad y la seguridad de su comunidad, después de la instalación de los paneles solares?
s22	¿Evidencia algún cambio en la cantidad de agua disponible, después de la implementación de los paneles solares?
s23	¿Ha notado una mejora en la calidad del agua que usan en el hogar, después de la implementación de los paneles solares?
s24	¿En su hogar poseen algún método de purificación del agua para consumo?, si es afirmativa su respuesta cuál es el método?
s25	¿Usted calificaría que hoy el acceso al servicio del agua ha mejorado, teniendo en cuenta la implementación de los paneles solares?
s26	¿Actualmente sus hijos asisten a la escuela?
s27	¿Pueden sus hijos estudiar más tiempo en casa desde que obtuvo acceso a la electricidad, por medio de los paneles solares?
s28	¿Tiene un teléfono móvil?
s29	El teléfono móvil con el que actualmente cuenta ¿lo adquirió desde la instalación de los paneles solares?
s30	¿Posee servicio de internet y este ha sido adquirido desde la implementación de los paneles solares?

Nombre	Pregunta
s31	¿Puede decir que la implementación del sistema de paneles solares lo ha impulsado a comprar electrodomésticos o equipos de comunicación para su hogar?
s33	¿Usted o alguien de su familia ha tenido problemas de salud durante los últimos años?
s33	¿Considera usted que la implementación de los paneles solares ha ayudado a mejorar el servicio educativo?
s34	¿Considera que ha dado un aumento en el número de personas con acceso a agua potable?
s35	¿Considera que la implementación de este proyecto mediante paneles solares ha generado pérdida de tradiciones en la comunidad?
s36	¿Considera que han aumentado las acciones dirigidas a facilitar el empleo de personas con discapacidad, desde la implementación de los paneles solares?
s37	¿Considera que han aumentado las acciones dirigidas a facilitar el empleo de las mujeres, desde la implementación de los paneles solares?
s38	¿Con la implementación del sistema de energía, considera que las opciones laborales en la región se han incrementado?
s39	¿Cuántas horas de estudio hacen sus hijos por día en la casa?
s40	¿Cuántas veces al mes asiste a control de medicina?
s41	¿Cuántas veces al mes asiste a control de Odontología?
s42	¿Qué enfermedad ha contraído, después de la implementación de los paneles solares?
s43	¿Cuántas veces a la semana accede a internet?
a44	¿Considera que el uso del sistema de paneles solares ha impactado positivamente el medio ambiente de su región?
a45	¿Desde la implementación de los paneles solares se hace un uso más efectivo de los recursos locales, fuentes de energía, materias primas, como menos desperdicio de agua, mejor uso de residuos agrícolas, entre otra?
a46	¿La calidad del aire interior de su casa tuvo una mejora, desde que se implementó los paneles solares en su hogar?

Nombre	Pregunta
a47	¿La calidad del aire exterior del sector tuvo una mejora, desde que se implementó el sistema de paneles solares?
a48	¿Considera que se ha mejorado en los rendimientos o volumen de los cultivos, después del uso de los paneles solares?
a49	¿Considera que ha habido mejoras en la gestión, recolección y tratamiento de residuos, incluyendo reutilización y reciclaje, después de la implementación de los paneles solares?
a50	¿Usted considera que se ha logrado una reducción en la exposición al humo, ruido y / u olores gracias a los paneles solares?
a51	¿Considera que ha reducido el riesgo de incendio y explosión gracias a los paneles solares?
a52	¿Usted considera que se ha reducido en el número de enfermedades transmitidas por insectos, debido a la implementación de paneles solares?
a53	¿Cuál es el tipo de iluminación que poseía su hogar, antes de la implementación del sistema de paneles solares?
a54	¿Cuál es el costo mensual que paga por el acceso a la iluminación?
a55	¿Cuando prepara su comida, qué tipo de material de combustión usa?
a56	¿De dónde obtuvo este tipo de material, con el que prepara la comida?
a57	¿Cuál es el porcentaje aproximado sobre sus ingresos mensuales, que destina para la compra del material de combustión que usa?
a58	¿Cuál es el medio de abastecimiento de agua en su hogar?
a59	¿Podría relacionar una enfermedad, la cual esté ligada a los sustitutos energéticos usados?
em60	¿Usted ha recibido capacitaciones sobre nuevas tecnologías, desde la llegada del proyecto de paneles solares?
em61	¿Usted ha recibido capacitación en el mantenimiento y cuidado que debe hacerse a los paneles solares?
em62	¿Usted fue informado antes de la instalación de los paneles solares?
em63	¿Después de la implementación de los paneles solares ha recibido visitas que le informan referente a las condiciones de los paneles solares?

Nombre	Pregunta
em64	¿Después de la implementación de los paneles solares, usted ha notado cambio en las formas de comunicación de los habitantes de su comunidad?
em65	¿Existe actualmente espacios de consulta y discusión donde usted tiene la oportunidad de expresar su opinión sobre el uso de los paneles solares?
em66	¿Después de la implementación de los paneles solares se han creado asociaciones o grupos en torno a este tema?
em67	¿Se han realizado acciones para aumentar la conciencia sobre el uso racional de la Energía?
em68	Es positiva su opinión sobre el proyecto en relación con la mejora de sus condiciones de vida
em69	Las capacitaciones que ha recibido han sido mediante
em70	Después de la implementación del sistema de paneles solares, ¿Qué acciones se han dirigido a la educación / capacitación de niños/niñas y jóvenes, mujeres o personas con discapacidades?
em71	¿Usted ha notado un impacto significativo sobre el rol de los hombres en la comunidad desde la llegada de los paneles solares?
em72	¿Considera que, desde la llegada de los paneles solares, se ha dado una mayor incursión laboral de las mujeres en el mercado laboral en la comunidad?
em73	¿Considera que la implementación del sistema de energía, ha impulsado positivamente el empleo de las personas discapacitadas?

Anexo 4. Registro fotográfico de beneficiarios de Hato Corozal y aplicación de las encuestas



Fuente: Consener S.A.S.







Modelos con Variable Dependiente Cualitativa y Limitada: Modelo Logit

STATA

$$\begin{aligned} \text{\$20} = & -5.397 \text{ s23} - 32.390 \text{ s27} - .967 \text{ s35} + 1.916 \text{ s37} + 2.703 \text{ e1} \\ & + 2.687\text{e6} + 0.068 \text{ ed} - 3.493 \text{ a44} \end{aligned}$$