

ANÁLISIS DEL POTENCIAL AMBIENTAL Y ECONÓMICO, PARA EL USO DE FUENTES DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN HOGARES DE LA VEREDA SAN JORGE DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ

Cesar Augusto Navarrete Q., Ingeniero Mecánico & Juan Camilo Tinjacá G., Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, correspondencia; Carrera 14 No. 5 – 10, Zipaquirá – Colombia. Tel: (+57) 311 869 6332 / 310 5686293. ceanq83@gmail.com / camitinja@hotmail.com

Asesor: Oscar Fernando Gomez Morales, Docente - Investigador de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales. Correo electrónico: oscarf@umanizales.edu.co

RESUMEN: La investigación se realiza con el propósito de analizar desde el punto de vista ambiental y económico, el potencial para la utilización de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá. A través de la caracterización de los parámetros ambientales y demanda de energía necesarios para la utilización de fuentes de energía solar y eólica en la vereda, mediante la obtención de parámetros meteorológicos recolectados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) en estaciones cercanas al sitio de estudio y aplicando un instrumento de recolección de datos para conocer la demanda de energía en los hogares de la zona de estudio.

Posteriormente con base en la potencia requerida, se realizó el cálculo del sistema considerando las características técnicas de los equipos, para configuraciones grid connect (conectado a la red eléctrica) y stand alone (autónomo). Seleccionados los equipos, se compararon con un sistema convencional, teniendo en cuenta la variable económica, huella de carbono y grado de confiabilidad del servicio. La investigación permitió establecer que el potencial uso de energía eólica no es viable, puesto que la velocidad del viento se encuentra en un rango de 2,15 a 2,85 m/s, así mismo, cuentan con potencial para la generación de energía en la vereda, capaz de suplir la demanda promedio de energía de los hogares, con una radiación solar mínima de 3,5 wh/m²/día y que la opción más viable es el sistema fotovoltaico Grid Connect para la implementación en una zona rural y se reafirma con el tiempo sobre los demás sistemas.

Palabras clave: energía no convencional, paneles solares, turbinas eólicas, grid connect, stand alone, radiación solar y velocidad del viento.

ABSTRACT: The research is carried out with the purpose of analyzing, from the environmental and economic point of view, the potential for the use of solar and wind energy sources in the homes of the village of San Jorge - Zipaquirá. Through the characterization of the environmental parameters and the energy demand necessary for solar and wind energy sources in the village, by obtaining meteorological parameters collected by IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) in nearest stations and applying an instrument of data collection to know the energy demand in the homes of the study area.

Subsequently according to the required energy, the calculation of the system is made taking the technical characteristics of the equipment, for the grid connects and stand alone configuration. Selected equipment is compared to a conventional system, taking economic variable, Greenhouse gas and the degree of reliability of the service. The research allowed to establish a potential use of non-viable wind energy, since the wind speed is in a range of 2.15 to 2.85 m / s, as well, they have potential for energy generation the path, able to meet the energy demand of households, with a minimum solar radiation of 3.5 wh / m² / day and that the most viable option is the Grid Connect photovoltaic system for implementation in a rural area and it is reaffirmed over time on the other systems.

Palabras clave: unconventional energy, solar panels, wind turbines, grid connect, stand alone, solar radiation and wind speed.

1 INTRODUCCIÓN

En el contexto mundial, el ser humano se ha convertido en dependiente de la energía eléctrica para fabricar sus productos, generar transporte, alimento, climatizar hogares, cargar dispositivos electrónicos, entretenimiento, etc.; esto ha llevado a producir esta energía principalmente de fuentes no sustentables como la extracción y combustión de carbón, petróleo y gas, principales causantes del calentamiento global y detonadores del cambio climático. Razón por la que, en los últimos años se ven cambios importantes en los sistemas de generación energética a partir de fuentes no convencionales o energías renovables que ayuden a disminuir las emisiones de carbono al ambiente y reducir el impacto ambiental sobre el planeta. Según “*The energy report*” (Deng, Cornelissen, & Klaus, 2011), 1400 millones de personas no tienen acceso a energía confiable como derecho básico, lo que reduce drásticamente la posibilidad de obtener educación y oportunidades.

En Colombia la situación no es diferente puesto que, según informe de la Superintendencia de Servicios Públicos para el año 2011, la cobertura del servicio de energía eléctrica debe cubrir 11.722.128 de usuarios, de los cuales 11.229.000 contaban con servicio de energía eléctrica (equivalentes al 95,8%), es decir que 493.128 usuarios están ubicados en las *Zonas No Interconectadas*. Es importante indicar que algunos de los usuarios que cuentan con servicio de energía eléctrica, se encuentran ubicados en zonas rurales y se ven expuestos a una baja calidad del servicio lo que se manifiesta en bajas de tensión, picos de tensión, suspensiones, entre otros.

Como parte de la problemática, la investigación formula analizar el potencial ambiental y económico para la utilización de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá, población rural que cuenta con 450 hogares aproximadamente (Triviño, 2016), interconectada a la red de energía y que presenta problemas de confiabilidad del servicio por cortes y bajas de tensión. Para el desarrollo de la investigación se obtuvieron datos ambientales – meteorológicos de la zona de estudios, obtenidos del Ideam y SSE (NASA Officia, 2017), para conocer los requerimientos de potencia eléctrica por hogar, se diseñó un cuestionario que permitió caracterizar la demanda de energía por cada hogar, la percepción de los usuarios frente al servicio de energía eléctrica actual y la opinión frente a las energías no convencionales.

Con los datos meteorológicos, potencial de energía y percepción sobre la energía de los usuarios, se construyó una matriz de selección para determinar los sistemas más

eficientes para una configuración *Grid Connect* (conectado a la red) y *Stand Alone* (autónomo). Seleccionados los sistemas se elaboró una matriz de importancia para comparar las variables económicas, huella de carbono y grado de confiabilidad que, como resultado, genera un análisis del potencial uso para la utilización de fuentes de energía solar y eólica en los hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá. Finalmente, la calidad del suministro de energía prestado puede interferir con el desarrollo del área de estudio. Por tanto, se realizó una confrontación de los resultados de esta investigación frente a experiencias y/o investigaciones similares, de autores respecto al aporte al desarrollo social y humano de las energías solar y eólica.

Teniendo en cuenta lo anterior el presente estudio formulo resolver la siguiente pregunta de investigación; ¿Cuál es el potencial ambiental y económico, para el uso de fuentes de energía solar y eólica en hogares de la vereda San Jorge del municipio de Zipaquirá?

2 ANTECEDENTES

2.1 Contexto internacional

Los autores Biswas, Bryce y Diesendorf (2001), proponen un modelo ecológico, económico y social integrado para ayudar al desarrollo rural sostenible en las aldeas de Bangladesh. La investigación concluye principalmente que las tecnologías de energía renovable (RET, por sus siglas en inglés), utilizadas de manera apropiada, pueden mejorar la calidad de vida de la población rural y brindar oportunidades de generación de ingresos; el modelo de proyecto sugerido describe cómo los RET pueden proporcionar estos elementos, creando actividades generadoras de ingresos al tiempo que reparan las desigualdades sociales y ambientales.

Ghafoor y Munir (2015), presenta un estudio sobre el diseño y el análisis de un sistema económico solar fotovoltaico para hogares, en cuyos resultados muestran que el costo unitario de la electricidad generado por un sistema fotovoltaico (PV) que no está conectado a la red es menor que el costo unitario que un sistema convencional en áreas residenciales y concluye que un sistema solar PV es económico y técnicamente viable.

El estudio de Kolhe, Udumbara y Gunawardana (2015), se basó en el dimensionamiento y evaluación técnico-económica, en zonas rurales de Sri Lanka con una población de 150 hogares y con una demanda de electricidad de 270 Kw-h, dicha investigación, al igual que la anterior, concluye que el sistema híbrido ese económicamente viable, puesto que el costo del Kw-h es bajo.

Chindanand y Gopalan (2018), efectuaron un modelo de electrificación rural a través de la combinación de redes eléctricas y la generación local de la energía. Este modelo fue probado en 20 casos, en una aldea en la India, como uno de sus resultados principales, determino que la energía renovable adicional puede reducir el costo de la energía convencional en un 27%, disminuir las interrupciones de energía en un 40% y disminuir las pérdidas en la red en un 62,5% en comparación con una simple extensión de la red eléctrica. Finalmente, el estudio concluye que la instalación de energía renovable en pueblos remotos también tiene efectos sociales muy positivos y contribuye a restablecer el dinamismo en las

zonas rurales. Este estudio podría usarse para dar forma a nuevas regulaciones a favor de la generación local de energía renovable en áreas rurales, para el beneficio de todos.

3.2 Contexto local

Pinto (2004), en su investigación: “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda el Carrizal en Sutamarchán”, establece que el uso de la energía renovable depende principalmente del nivel de ingreso en zonas no interconectadas. Las deficiencias en la interpretación del DS se originan en la fragmentación institucional del tema de la energía. Actualmente, el diseño de políticas orientadas al mejor uso de las energías renovables en zonas rurales, involucra a las autoridades ambientales, agrícolas y de la energía.

Ruíz y Rodríguez (2005), en su investigación estableció que la promoción de tecnología que aprovecha la energía renovable requiere la intervención del Estado para su desarrollo e implementación. Las metodologías de costos deben ser evaluadas y reformuladas teniendo en cuenta los factores ambientales y sociales y la posibilidad o no de interconexión a la red eléctrica.

La investigación “*Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case*” realizada por Zuluaga y Dynner (2007), en sus simulaciones llevadas a cabo para el mercado de Colombia, han llegado a la conclusión de que es menos eficiente promover las energías renovables a través de políticas fiscales como la exención del impuesto a la renta, mientras que otros tipos de políticas como los subsidios directos tienen un efecto importante en cuanto a la aceleración del proceso de difusión de la tecnología. Por lo tanto, le corresponde al gobierno establecer los incentivos apropiados para explotar eficientemente los recursos de energía renovable.

Ladino (2011), encontró que en las zonas no interconectadas solo se puede acceder a la energía eléctrica renovable, a partir de programas sociales que permitan el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, durante el desarrollo de esta investigación, se pudo evidenciar que no existen programas sociales, ni técnicos de seguimiento, control y mantenimiento de los sistemas, lo cual impide obtener información útil para replicar este tipo de proyectos en otras zonas. Para este caso el autor concluye que la implementación de las energías renovables trajo bienestar a la población, que no existía antes de la implementación de la energía fotovoltaica.

La investigación de Esteve (2011), analiza las alternativas de generación solar y eólica como soluciones de energización para centros poblados pequeños (menos de 500 habitantes) de 49 municipios que pertenecen a las Zonas No Interconectadas (ZNI) de Colombia. Como conclusiones se pudo determinar: i) que la disponibilidad del recurso solar en las ZNI es excelente (radiación mínima 4KWh/m²), lo cual resalta la importancia de tener en cuenta la alternativa solar, ii) el recurso eólico en los municipios analizados no es tan favorable (velocidad del viento de 2,4 m/s) a 20 m de altura.

La ley 1715 de 2014, forman un marco legal, para la integración de las energías renovables no convencionales (NCSRE) al Sistema Energético Nacional, y los autores Lopez y otros (2014), realizan un análisis de la implicación de esta ley, encontrando que hay interés por parte del gobierno para promover el sector NCSRE. Entre ellos, se pueden entregar excedentes, vender créditos de energía, eficiencia energética y respuesta a la demanda, también con la implementación de incentivos fiscales y de tarifas, sin embargo, se puede decir que, aunque ha habido algunos avances en la implementación de la ley, aún

existe la necesidad de un mayor compromiso por parte del gobierno a la hora de otorgar mayor flexibilidad a la actividad de reglamentación para que estos mecanismos se vuelvan completamente operativos y despiertan el interés de los inversionistas privados en apoyar al sector NCSRE en Colombia.

Rosso y Kfarov (2015), este trabajo presenta los resultados de una encuesta realizada a varios actores involucrados con los sistemas de energía renovable (RES) en Colombia. Se enfoca en identificar y analizar tres dimensiones sociales: Aceptación sociopolítica, aceptación en el mercado y aceptación de la comunidad. En el aspecto sociopolítico, se evidencian falta de políticas específicas, restrictivas y de apoyo que influye en la confianza pública para nuevos proyectos RES, respecto a la aceptación en el mercado se identificó falta de conocimiento de las instituciones financieras y familiaridad de la RES.

Mamaghani, Avella Escandona, Najafi, Shirazi y Rinaldia (2016), analizaron la aplicación de paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas y generadores diésel en un sistema híbrido de generación de energía independiente en tres pueblos rurales que se encuentra fuera de la red de interconexión eléctrica en Colombia, en esta investigación se seleccionó la configuración más adecuada desde el punto de vista económico y ambiental a través del uso de indicadores como el costo de capital inicial, Valor presente neto y las emisiones de CO₂ resultantes, dentro de los resultados obtenidos se determinó que la implementación de un sistema híbrido diésel-renovable tienen una huella de carbono muy baja, pero existe una barrera para su implementación, debido al costo de inversión inicial.

Celemín Cuellar (2016), en su investigación *“Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda san roque en el municipio de Ortega-Tolima”*, concluye que la utilización de sistemas solares tiene ventajas frente a otros tipos de energías ya que permite la reducción de emisiones de CO₂, además de esto la investigación establece que la implementación de sistemas solares en la zona de estudio permite el acceso de la comunidad a diferentes medios de comunicación (televisión, internet, teléfono), reduciendo el aislamiento social. El costo inicial del sistema es la principal barrera para la utilización de estos sistemas si se tiene en cuenta que los usuarios finales pertenecen a familias de recursos limitados.

Silva Herran y Nakata (2016), determinó que los sistemas de energía renovable para un área rural aislada no interconectada en Colombia, son suficientes para satisfacer la demanda de electricidad, pero no la carga máxima de electricidad, lo que sugiere una necesidad de almacenamiento. También, se identifica la ausencia de políticas o incentivos adecuados que motiven una amplia participación de los interesados en los proyectos de planificación energética rural, entre muchos otros, finalmente, la evaluación de otros factores como el excedente de generación de electricidad (que podría usarse para mejorar las actividades productivas existentes o hacer posibles nuevos) y la confiabilidad del sistema (en términos de uso de recursos locales o dependencia de recursos externos) deben incluirse en el análisis, así como otros sectores de demanda de electricidad (cocina, agricultura).

Aguirre Mendoza, Díaz Mendoza y Pasqualino (2017), en su investigación *“Renewable energy potential analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipiélago, Colombia”* afirma que el suministro de energía es uno de los problemas más críticos que afectan el desarrollo económico y social de las islas pequeñas y remotas. Las soluciones de energía alternativa son prometedoras y favorables para los pequeños propósitos de la isla, ya que pueden utilizarse en aplicaciones

de pequeña escala. El estudio determinó que no hay potencial para las soluciones de energía de las olas y las mareas, y de velocidad del viento con promedios de 2,6 m/s, cuando lo requerido debe ser de 3 m/s a 6 m/s. La energía solar fotovoltaica es, sin embargo, una solución prometedora para esta isla, donde algunas personas ya tienen sistemas solares para el autoconsumo, mientras que otras utilizan generadores diésel.

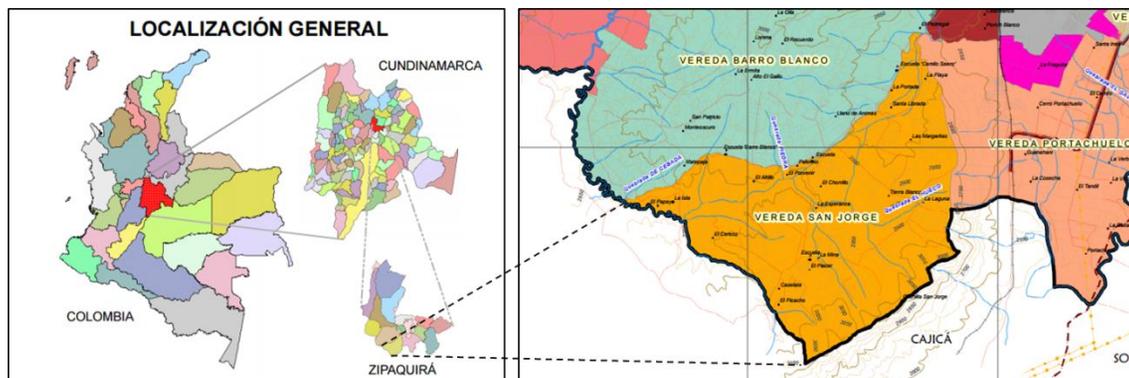
Gevelt y otros autores (2018), generaron la iniciativa “*Smart village*”, que durante tres años, reunió evidencia y opiniones de más de 1000 partes interesadas de 70 países para identificar las condiciones marco necesarias para la provisión de servicios de energía a las comunidades rurales y garantizar que el acceso a la energía y permitió determinar que el acceso a la energía y el desarrollo rural requerirá que las aldeas inteligentes o “*Smart Village*” se conviertan en la norma, no la excepción, para las comunidades rurales. Aún existe una escasez de estudios experimentales capaces de evaluar rigurosamente enfoques escalables para proporcionar acceso a la energía y los mecanismos necesarios para garantizar el disfrute de la energía. Hallazgos de tales estudios pueden ayudar a construir la base de evidencia necesaria para avanzar en la política y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

3.3 Descripción de la zona de estudio

La investigación se llevará a cabo en la vereda San Jorge ubicada en el municipio de Zipaquirá a siete Km del casco urbano, departamento de Cundinamarca, Colombia. La vereda San Jorge ubicada en el municipio de Zipaquirá, hace parte de uno de los 14 asentamientos rurales con los que cuenta el municipio, a nivel de plan de ordenamiento territorial la vereda se divide en tres sectores Centro-Barroblanco sector donde se concentra la mayor densidad de población, El Gavilán y El Puyón, que cuentan con 450 hogares aproximadamente (Triviño, 2016).

Otro aspecto importante de esta vereda, es que cuenta con uno de los núcleos rurales más grandes de Zipaquirá que corresponde a los asentamientos que presentan cierto grado de consolidación urbanística y que, por su posición equidistante dentro del territorio rural, es susceptibles de convertirse en núcleos básicos de servicios y espacios representativos que permitan cohesionar la población y ser los puntos de representación de diferentes entidades municipales ante la comunidad campesina (Alcaldía de Zipaquirá, 2010).

Ilustración 1. Localización Geográfica: Vereda San Jorge – Municipio de Zipaquirá



Fuente: POT Zipaquirá, 2013.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolla de manera secuencial o por etapas, con un enfoque cuantitativo toda vez que acciones para el cumplimiento del objetivo se realizaron siguiendo las diferentes fases que componen un enfoque de este tipo.

Esto permitió que la investigación siga un proceso sistemático y los datos obtenidos de las mediciones sean objetivos al no ser afectados por el investigador, quien debe evitar en lo posible que sus temores, creencias, deseos y tendencias influyan en los resultados del estudio o interfieran en los procesos y que tampoco sean alterados por las tendencias de otro (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014).

Con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación, la metodología se desarrolló teniendo en cuenta las siguientes etapas:

3.1 *Caracterizar los parámetros ambientales y la demanda de energía necesarios.*

Los parámetros ambientales se caracterizaron mediante la recolección de información climatológica de bases de datos recolectadas en estaciones cercanas a la zona de estudio, las cuales son monitoreadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Atlas de Radiación Solar y Atlas de Viento, generado por la misma entidad, además de datos de la SSE (NASA Official, 2017)

Para conocer los requerimientos de potencia eléctrica por hogar, se diseñó un cuestionario que permite caracterizar la demanda de energía por cada hogar, la percepción de los usuarios frente al servicio de energía eléctrica actual y la opinión frente a las energías no convencionales.

El instrumento de recolección de datos seleccionado para conocer la demanda de energía en los hogares de la zona de estudio, es el cuestionario, que consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014), dicho cuestionario plantea preguntas cerradas y abiertas, para obtener información acerca de los electrodomésticos usados, número y tipo de bombillos usados, número de interrupciones del servicio, percepción del servicio actual, opinión acerca de las energías no convencionales y demanda de energía mensual promedio, según la factura del servicio de energía.

3.2 *Determinar el sistema de energía solar, eólico o híbrido.*

Para determinar el sistema en una primera fase se toman como referencia tres marcas reconocidas de paneles solares y turbinas eólicas en el país, de estas marcas se obtendrá del proveedor las fichas técnicas y valor de los equipos.

En una segunda fase se calcula, la potencia que puede ser entregada en la zona de estudio, de acuerdo con los datos climatológicos obtenidos en esta y las características de los potenciales equipos a instalar. Para el caso del sistema solar fotovoltaico el cálculo se realiza siguiendo los lineamientos de (Dunn, Photovoltaics, 2013) y (IEEE 1013, 2007), luego de esto se selecciona el arreglo con las mejores condiciones de potencia y eficiencia. Para el sistema eólico el cálculo se realizará siguiendo los lineamientos de propuestos por el (Departamento de Energía EE.UU., 2007), en cuanto al sistema híbrido, se diseña un arreglo que mezcle el eólico y solar, se calcula la potencia que entrega el sistema.

Posteriormente, con base en la potencia requerida por hogar, se realiza el cálculo del sistema teniendo en cuenta las características técnicas de los equipos previamente seleccionados, es importante aclarar que los sistemas se calculan para configuraciones *Grid Connect* (conectado a la red eléctrica) y *Stand Alone* (autónomo), para cada uno de los sistemas no convencionales (solar, eólico e híbrido).

En una tercera fase se construye una matriz que muestra los costos de cada uno de los sistemas calculados y la eficiencia de estos, con base en esta se selecciona el sistema más económico y eficiente para cada una de las configuraciones (*Grid Connect* y *Stand Alone*).

3.3 Contrastar un sistema de energía convencional con el sistema no convencional.

Para tal fin se diseña una matriz de alternativas que permite comparar las variables económicas, huella de carbono y grado de confiabilidad. El método para la selección del sistema se basa en la matriz de selección de alternativas (Begoña, 2007): primero se definen las alternativas propuestas con el desarrollo del objetivo número dos, luego se determina la importancia para los criterios de evaluación; técnico (confiabilidad), económico (costo del sistema) y ambiental (huella de carbono), a estos aspectos se les asigna un valor numérico en la escala Saaty, luego esta importancia se replica para cada criterio a los sistemas escogidos, para finalmente priorizar las alternativas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros climatológicos

Para el dimensionamiento de los sistemas no convencionales, se utilizan datos de entrada de los valores mínimos obtenidos para radiación solar, horas sol día y velocidad del viento. En el caso de la radiación, se obtuvo un valor de 3,82 kw/m²/día, en la estación Nueva Granada y de 4,59 kw/m²/día en la SEE de la Nasa, para el caso de estudio se trabajó con el primer valor. Esteve Gomez (2011), en su investigación resalta que en las zonas no interconectadas del país se cuenta con una excelente disponibilidad del recurso solar, con una radiación solar mínima de 4,00 kw/m²/día, lo que indica que los valores para la zona de estudio son cercanos a lo que encontró el autor en su investigación, incluso en la zona de estudio se evidenciaron valores de hasta de 5,54 kW/m²/día favorables para el desarrollo de proyectos relacionados con energía solar.

En cuanto a la velocidad del viento, se encontraron valores mínimos 2,30 m/s, 2,10 m/s y 1,52 m/s para el aeropuerto El Dorado periodo 2007 – 2012, aeropuerto El Dorado 1981 – 2010 y SSE Nasa, respectivamente, en cuanto a los datos SSE Nasa se desvían en más del 20%, por tanto, no fueron tenidos en cuenta, para el dimensionamiento del sistema se tuvo en cuenta los datos más recientes del aeropuerto El Dorado. Los valores de velocidad del viento en la zona de estudio tienen promedios bajos, lo cual no favorece la implementación de este tipo de sistemas, de acuerdo con lo citado por Aguirre Mendoza, Díaz Mendoza y Pasqualino (2017), donde establecen que una velocidad requerida debe ser entre 3 y 6 m/s. Esteve Gomez (2011), en su investigación, menciona que el recurso no es favorable en los municipios analizados, puesto que solo cuentan con una velocidad del viento de 2,4 m/s a 20 metros de altura, velocidad que no es suficiente para un proyecto a

pequeña escala; finalmente, para el análisis de datos, se revisaron las condiciones de operación de tres turbinas eólicas presentadas en la Tabla 1.

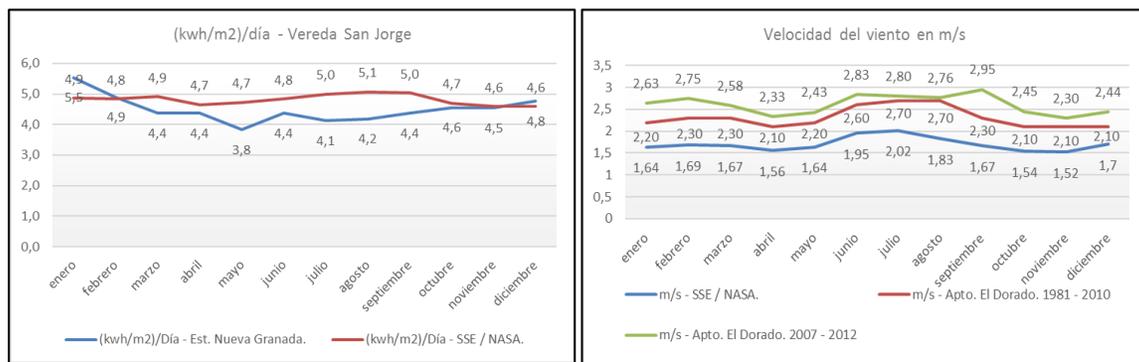
Tabla 1. Condiciones de operaciones turbinas eólicas.

Marca	Modelo	Velocidad arranque (m/s)	Velocidad normal de (m/s)
Raum Energy	3,5 Kw	2,8	11
Nohanna 3000	WT1kW Triple Pala	3	3 - 14
Solar Greensys	SGNE 1000 M5	2,5	2,5 – 12

Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

Lo anterior permite establecer que las velocidades del viento en el área de estudio no son suficientes para la implementación de sistemas eólicos, puesto que las velocidades de arranque son mayores a las del área de estudio.

Ilustración 2. Condiciones climatológicas de la zona.



Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

4.2 Consumo de energía.

La determinación del consumo para el diseño de un sistema de energía no convencional se obtuvo de un inventario de equipos eléctricos y electrónicos obtenidos mediante la aplicación del cuestionario, con el cual se estableció un consumo de 137 kw/h-mes, siguiendo los lineamientos del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050, 1998).

El consumo de 137 kw/h-mes, es un dato aceptable y viable para el diseño del sistema de energía no convencional, teniendo en cuenta los datos obtenidos por el consumo real, es importante aclarar que los hogares rurales no fueron pensados para sistemas de energía no convencional y aún utilizan aparatos eléctricos y electrónicos poco eficientes como bombillas incandescentes, lo que permite concluir que, el consumo para hogares nuevos, puede ser menor si se planea pensando en sistemas más eficientes

4.3 Arreglo del sistema de energía no convencional y selección.

4.3.1 Sistema de energía solar

Para la determinación del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico para un hogar promedio de la vereda San Jorge, se realizó el dimensionamiento mínimo a tener en cuenta, esto con el fin de conocer cuántos equipos son requeridos para un arreglo típico, si es viable técnicamente de acuerdo con los datos climatológicos y como línea base. El arreglo fotovoltaico se realizó teniendo en cuenta lo norma (IEEE 1013, 2007), “*IEEE Recommended practice for sizing lead-acid batteries for stand-alone photovoltaic (PV) systems*”, una vez realizado dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico se pudo determinar que el arreglo final del sistema estará compuesto como mínimo por:

Arreglo final sistema pv	Stand Alone	Grid Connect
Paneles Fotovoltaicos	6	6
Controlador de carga	1	0
Batería	8	0
Inversor	2	2

Para su instalación la investigación determino, que se requieren elementos adicionales como los mencionados en la siguiente lista:

Descripción	Stan alone	Grid Connect
Suministro e Instalación Cable Solar 6mm	X	X
Suministro e Instalación Cable encauchetado 10 AWG	X	X
Suministro e Instalación Breaker DC 30 AMP	X	X
Suministro e Instalación Caja de Breaker4 circuitos	X	X
Suministro e Instalación tubería IMC 1/2" x 3m	X	X
Suministro e Instalación codo 1/2" 90° IMC	X	X
Suministro e Instalación Unión 1/2" IMC	X	X
Suministro e Instalación Estructura para Soporte Baterías	X	
Suministro Medidor Bidireccional		X
Conexión planta solar a tablero de distribución	X	
Certificación RETIE	X	

Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

4.3.2 Arreglo del sistema eólico

Se determinó que el arreglo del sistema no se continua, puesto que, de acuerdo con las velocidades del viento, se determina que, técnicamente nos es viable instalar un sistema eólico, puesto que para lograr la potencia de 4573 wh/día, se necesitarían más de 400 turbinas; lo que no es posible por espacio, deterioro del paisaje y fuente de financiación razonable, esto permite concluir y confirmar lo citado por las investigaciones de Aguirre Mendoza, Díaz Mendoza y Pasqualino (2017), además de Esteve Gomez (2011), donde velocidades por debajo de 3 m/s, no son viables para la utilización de sistemas eólicos a pequeña escala.

4.3.3 Matriz de alternativas, selección del sistema

La selección de alternativas se basó en la escala de importancia relativa, en la que se asignaron valores al costo, la potencia y la eficiencia. Con lo cual se pudo determinar lo que establece la siguiente tabla:

Tabla 2. Determinación del proveedor seleccionado

TIPO DE SISTEMA	Autonomo / Interconectado	MARCA	POTENCIA (Kwh - MES)	POTENCIA (Wh - día)	COSTO con IVA	EFICIENCIA DEL SISTEMA	CALCULO PUNTAJE ALTERNATIVA	PUNTAJE ALTERNATIVA
SOLAR	STAND ALONE	ERCO	229	7633,33	\$ 48.452.220,00	13,70%	$ERCO = (0,49 \times 0,16) + (0,31 \times 0,50) + (0,20 \times 0,30) =$	0,297
SOLAR	STAND ALONE	SOLUTECNIA	156	5200,00	\$ 12.783.869,00	15,37%	$SOLU = (0,49 \times 0,54) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,34) =$	0,410
SOLAR	STAND ALONE	VALENCIA	161,4	5380,00	\$ 22.291.152,00	15,85%	$VALE = (0,49 \times 0,30) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,35) =$	0,293
SOLAR	GRID CONNECT	ERCO	229	7633,33	\$ 34.052.220,00	13,70%	$ERCO = (0,49 \times 0,13) + (0,31 \times 0,50) + (0,20 \times 0,30) =$	0,279
SOLAR	GRID CONNECT	SOLUTECNIA	162	5400,00	\$ 6.201.899,00	15,37%	$SOLU = (0,49 \times 0,59) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,34) =$	0,438
SOLAR	GRID CONNECT	VALENCIA	161,4	5380,00	\$ 16.917.208,00	15,85%	$VALE = (0,49 \times 0,28) + (0,31 \times 0,25) + (0,20 \times 0,35) =$	0,283

Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

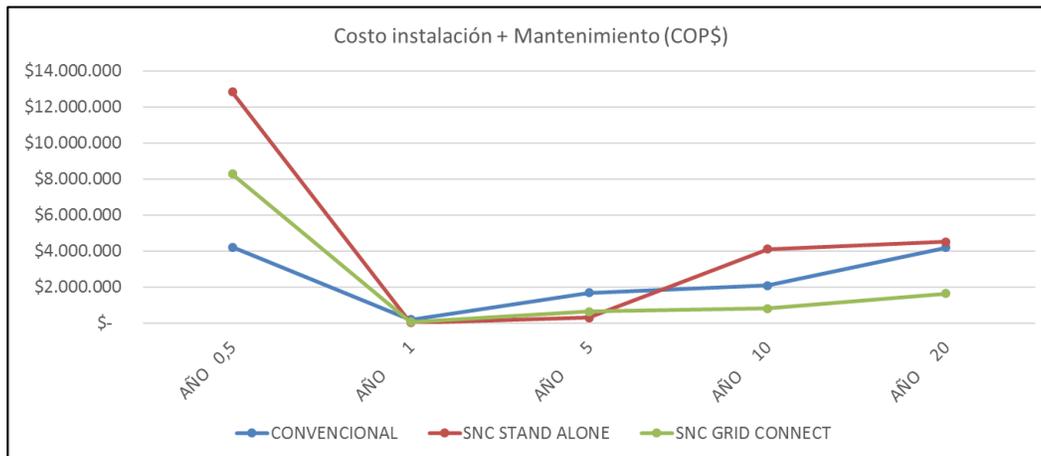
De acuerdo con la tabla anterior, el proveedor seleccionado para sistema *Stand Alone* y *Grid Connect* es Soluctecnia con 0,410 y 0,438 puntos respectivamente. El proveedor propone un sistema de 155 Kwh /mes para el sistema *Stand Alone* y de 162 Kwh / mes para el sistema *Grid Connect*, que cubre la necesidad establecida en el presente proyecto de 137 Kwh /mes. Los resultados obtenidos son consistentes con Kolhe, Udumbara y Gunawardana (2015), en cuya investigación se determinó el sistema híbrido como económicamente viable, puesto que el costo del Kw-h es bajo. Esto al comparar los valores del sistema *Stand Alone* con el *Grid Connect* de la Tabla 12, los sistemas *Grid Connect* presentan disminución, en promedio, del valor del 31%.

Los excedentes de un sistema de energía no convencional podrán significar una oportunidad para los auto generadores a pequeña escala, puesto que la ley 1515 de 2014, reglamentada bajo la resolución CREG 030 de 2018, permite la venta al sistema de energía de la red nacional. Lo que genera mayores expectativas en el futuro para los sistemas *Grid Connect*, sin embargo, se requerirán estudios más detallados para conocer cómo se puede y en qué medida se benefician los auto generadores.

4.4 Comparación SC Vs. SNC.

Teniendo en cuenta que los sistemas no convencionales varían en el tiempo y con base en los antecedentes la investigación contemplo realizar un análisis de los datos en seis meses, uno, cinco, 10 y 20 años.

Ilustración 3. Costo de instalación + mantenimiento en cada periodo.

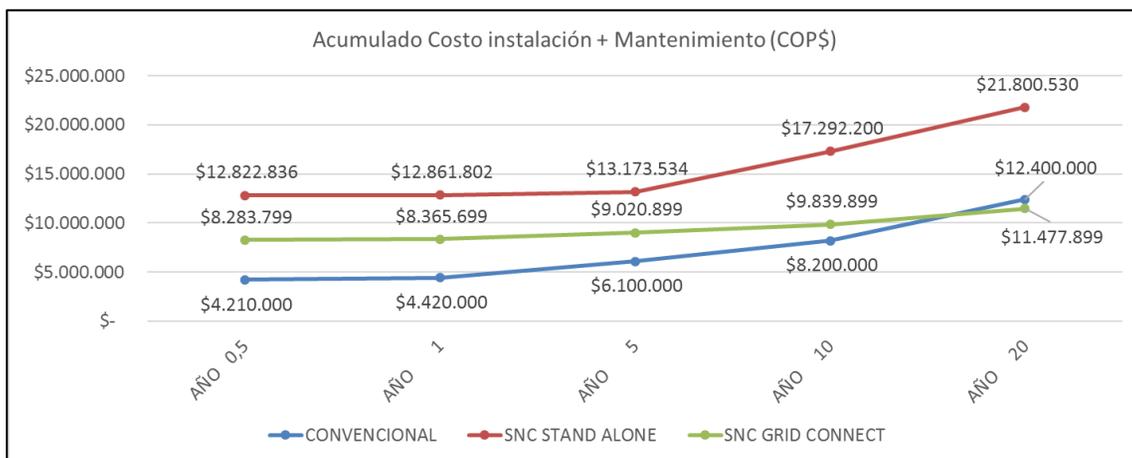


Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

A los seis meses, con la instalación de los equipos, el SNC *Stand Alone*, es el más costoso con un valor de COP\$ 12.822.835, respecto a un SC, con un valor COP\$ 4.210.000 y COP\$ 8.283.799 para el SNC *Grid Connect*, es decir, supera los valores en un 204% y 96% respectivamente, para los años uno al cinco, los valores del costo de mantenimiento tienden a igualarse y en el año 10, nuevamente se incrementan considerablemente los costos del SNC *Stand Alone*, por deterioro de las baterías en un 96%, respecto a un SC; finalmente, en el año 20 la tendencia exitosa en temas de costos es para el sistema *Grid Connect*, con un valor de COP\$ 1.638.000 (año 10 al 20), lo que significa una reducción del 39%, respecto al SC, con un valor de COP\$ 4.200.000 para el mismo periodo y una reducción del 36% respecto al SNC, *Grid Connect* con un valor de COP\$ 4.508.330 para el mismo periodo.

Para ejecutar una comparación efectiva de costos se realizó una sumatoria acumulativa incluyendo instalación y mantenimiento, con el fin de determinar los valores totales al final de cada periodo y así determinar en 20 años cual termina siendo más costoso, en la ilustración 4 se observa el comportamiento acumulado por sistema.

Ilustración 4. Acumulado costo de instalación + mantenimiento.



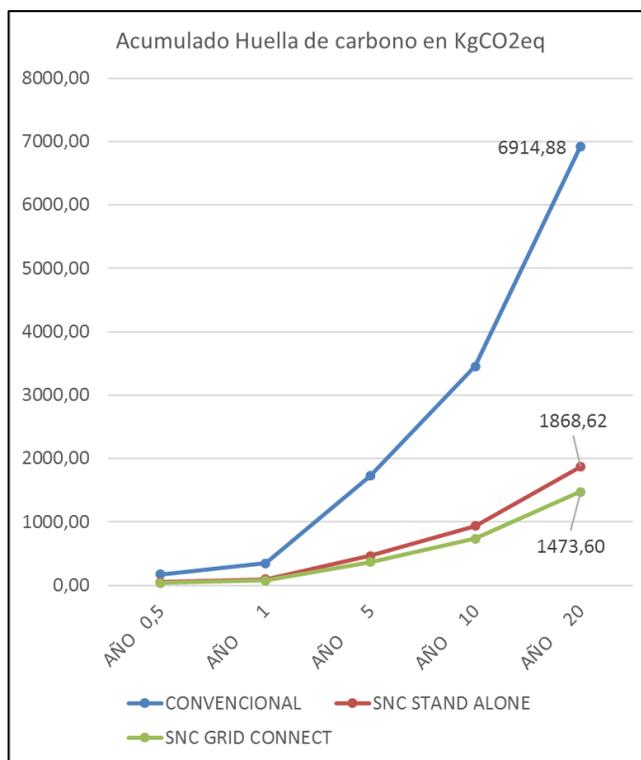
Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

Realizando el análisis de la ilustración 4, se determina que en el año 10 el sistema Stand Alone supera en más del 110% el SC y SNC Grid Connect en 76%. Sin embargo, en el año 10, la tendencia no es tan marcada para el SC y SNC Grid Connect la diferencia entre los dos es tan solo el 19%.

Para el año 20 la tendencia pasa a ser favorable para el sistema *Grid Connect* con una reducción del 8% respecto al SC, este análisis permite concluir que los SNC Stand Alone (autónomos), en zonas interconectadas, no son viables económicamente, por el contrario los SNC *Grid Connect* (conectados a la red), es un opción viable y económica si el proyecto o, en este caso vivienda, está pensado en más de 20 años, se aclara que en este proyecto no se tuvo en cuenta la resolución CREG 030 de 2018, que reglamenta la ley 1715 de 2014, que permite hacer la venta de excedentes al sistema de red nacional, dado que aún no son claras las tarifas para la venta de energía por SNC, sin embargo esto deja una puerta abierta para reducir aún más los costos de los SNC *Grid Connect* y que pueden ser motivo de una investigación en detalle para este tipo de sistemas.

Otro aspecto que se analizó fue la huella de carbono, que cada vez toma más relevancia en los gobiernos como mecanismos para medir el impacto ambiental y en algunos casos el aumento de la carga fiscal. En la ilustración 5 se aprecia el comportamiento acumulado de la huella de carbono de los tres sistemas.

Ilustración 5. Acumulado Huella de Carbono en KgCO₂eq.



Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

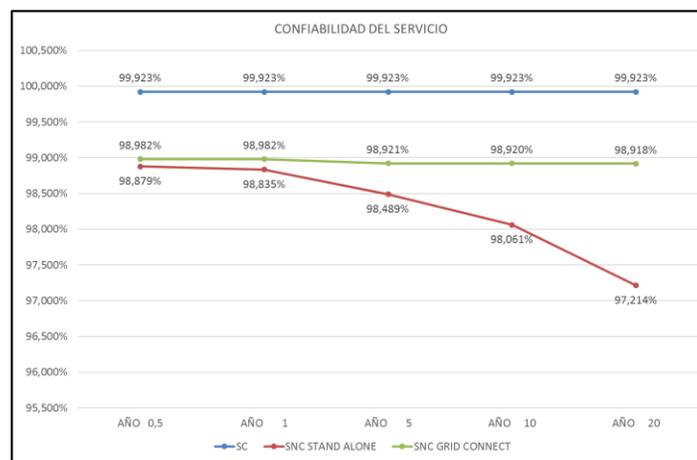
En el año 20, la diferencia es marcada, en cuanto al impacto generado por los diferentes sistemas. Por ejemplo, un hogar promedio de la vereda San Jorge, con los sistemas actuales de energía habrá emitido 6569,136 KgCO₂eq, mientras un SNC Stand

Alone 1868,620 KgCO₂eq y un SNC Grid Connect 1473,6 KgCO₂eq, es decir un 270% y 369%, respectivamente en el año 20.

Este análisis también permitió establecer en la investigación que un SC de energía en la vereda San Jorge emite 345 KgCO₂eq/año, el SNC Stand Alone 93,43 KgCO₂eq/año y el SNC Grid Connect 73,68 KgCO₂eq/año.

En cuanto a la ilustración 6, se indica el comportamiento de la confiabilidad, este no presenta variaciones importantes entre un sistema y otro, los % son muy pequeños en la variabilidad, para el caso del SC este es quien presenta mayor estabilidad y confiabilidad a lo largo de los 20 años con valores por encima del 99%, seguido por el SNC Grid Connect con valores cercanos al 98% de confiabilidad y en último lugar el SNC Stand Alone con valores entre 98 y 97 %.

Ilustración 6. Confiabilidad del servicio por tipo de sistema



Fuente: Elaboración de los autores, 2018

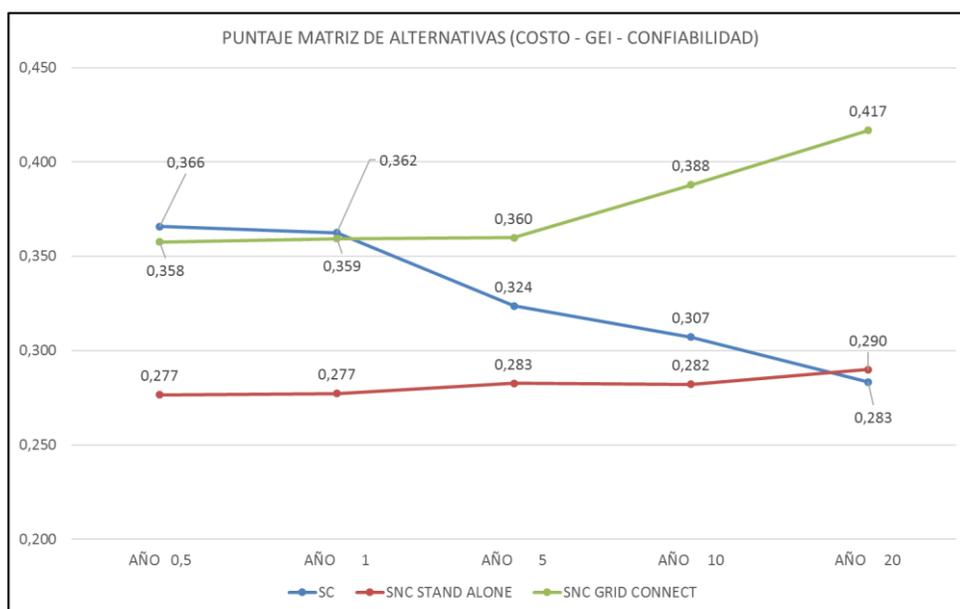
El SNC Stand Alone tiende a disminuir su confiabilidad debido a uno de sus componentes, como lo son las baterías que presentan tasas de fallo importantes después de cinco años de uso.

4.4.1 Selección de alternativas SC Vs. SNC.

Teniendo en cuenta el análisis de las variables mencionadas anteriormente, durante la investigación se debió generar una correlación entre estas, para la selección de alternativas se generó una escala de importancia relativa, en la cual se asignaron valores al costo (COP), gases efecto invernadero (GEI) expresado en KgCO₂eq/año y confiabilidad (%) del servicio.

Al realizar el cruce de los tres criterios, la mejor alternativa en un inicio para la instalación y el año uno es el SC, en el año cinco del SNC Grid Connect se mantiene por encima de los SC y SNC Stand Alone hasta el año 20 como la mejor alternativa. En el año cinco el SNC Grid Connect presenta una diferencia del 11%, con el SC, y del 27% con el SNC Stand Alone, para el año 10 la diferencia del SNC Grid Connect con el SC se aumenta al 26% y 38% con el SNC Stand Alone, en el año 20 la diferencia aumenta al 47% con el SC y al igual que el SNC Stand Alone con un valor de 44%.

Ilustración 7. Puntaje de alternativas seis meses, uno, cinco, 10 y 20 años



Fuente: Elaboración de los autores, 2018.

En resumen, podemos establecer que el para los seis meses de instalación y un año, la mejor alternativa es el SC, a partir del año cinco hasta el 20 la mejor alternativa es el SNC *Grid Connect*, y que en el año 20 también se presenta un dato interesante al evidenciar que el SNC *Stand Alone* empieza a superar en puntaje al SC. Esto permite determinar que el sistema *Grid Connect* es una alternativa viable para la implementación en una zona rural y se reafirma con el tiempo sobre los demás sistemas.

El SNC *Grid Connect*, es una alternativa viable para la implementación en la vereda San Jorge del Municipio de Zipaquirá, esto acorde con el estudio presentado por Ghafoor y Munir (2015), quienes concluyen que un sistema solar PV es económico y técnicamente viable, al igual que Kolhe, Udumbara, y Gunawardana (2015), concluyen que el sistema híbrido es económicamente viable, puesto que el costo del Kw-h es bajo. En cuanto al costo se determina que la reducción puede llegar a ser del 8% del SNC *Grid Connect* respecto a un SC, acorde con lo encontrado en la investigación de Chindanand y Gopalan (2018), la cual determino que la energía renovable adicional puede reducir el costo de la energía convencional en un 27%. Es importante tener en cuenta que, a pesar de que el SNC *Grid Connect*, generó el mejor resultado, hay limitaciones de tipo económico para su implementación en el inicio, se podría sugerir que para ganar mercado de este tipo de energías el costo inicial pueda ser financiado en el tiempo, o que se generen beneficios tributarios para lograr incentivar a los habitantes de la vereda San Jorge, así como Radomes Jr. y Arango (2015), en su investigación “Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaicsystem support schemes in Medellín, Colombia”, determinaron que, para difundir las energías renovables, es importantes explorar incentivos fiscales y no fiscales.

En cuanto la reducción de huella de carbono, indudablemente los SNC *Stand Alone* y *Grid Connect* generan un impacto menor sobre el ambiente, en acuerdo con lo postulado por (Celemín Cuellar, 2016), quien concluye que la utilización de sistemas solares tiene ventajas frente a otros tipos de energías ya que permite la reducción de emisiones de CO₂.

4.5 Aporte al desarrollo sostenible, medio ambiente, social y humano

En este sentido se pudo ver en los resultados arrojados por esta investigación que el costo inicial de un sistema de generación de energía no convencional *Stand Alone* y *Grid Connect* superan el costo inicial de la instalación de un sistema convencional, sin embargo a largo plazo el segundo sistema resulta más económico que uno convencional, el hecho de que la inversión inicial sea mayor puede representar una limitante para que los habitantes de la vereda San Jorge accedan a esta tecnología, sin embargo también abre una ventana de oportunidad para las entidades financieras hacia la creación de sistemas de crédito asequible que permita que las comunidades rurales puedan adquirir este tipo de tecnologías, tal como las externalidades positivas a partir de iniciativas privadas encontradas por la investigación de Cedrik y Long (2017); también Biswas, Bryce y Diesendorf (2001), mencionan que la implementación de los sistemas no convencionales acompañados de sistemas de microcréditos como los hechos por Grameen Bank y Barc, pueden abrir una oportunidad hacia la mejora de la calidad de vida de los habitantes, lo encontrado por esta investigación y las mencionadas anteriormente se alinean con lo expuesto por UI Haq (2003) quién manifiesta que el crecimiento económico puede trasladarse a la vida de las personas a través de múltiples acciones como la implementación de nuevos sistemas de crédito que permitan el acceso a los más pobres.

La vereda San Jorge se podría ver beneficiada a través de la implementación de sistemas de energía no convencional ya que representaría una potencial fuente de aprendizaje y de trabajo para aquellos habitantes que aprendan sobre los sistemas y se conviertan en técnicos capaces de hacer mantenimientos y reparaciones pequeñas, así como también se podrían ver beneficiados económicamente ya que podrían vender la energía producida no consumida al estado, logrando así lo mencionado por UI Haq (2003):

(...) las personas valoran logros que no aparecen del todo, o por lo menos inmediatamente, en cifras de ingreso o crecimiento: mayor acceso al conocimiento, mejor nutrición y servicios de salud, medios de vida más seguros, seguridad frente a crímenes y violencia física, un tiempo libre más satisfactorio, libertades políticas y culturales y un sentido de participación en actividades comunitarias. (UI Haq, 2003)

Se abre una oportunidad de investigación y un llamado a las entidades gubernamentales a establecer el mejor método para el pago o compensación por producir energía ya que en la actualidad la legislación 1715 de 2014 no ha clarificado de qué manera se compensará a los productores de energía.

Pinto (2004) concluye en su investigación que la implementación de energías no convencionales depende principalmente del nivel de ingresos de las zonas no interconectadas, de la misma manera esta investigación muestra que la implementación dependerá de los ingresos que tengan sus habitantes, sin embargo se puede establecer que la alternativa *Grid Connect* a partir del año 20 será una mejor opción que la convencional si se tienen en cuenta solo el aspecto económico y si se tienen en cuenta las tres variables (económico, GEI y confiabilidad), la mejor alternativa es el *Grid Connect* a partir del año cinco, que contribuirá al desarrollo sostenible pues generará ingresos o descuentos en pagos de energía, disminuciones de GEI y conocimiento en los habitantes en esta nueva tecnología así como una potencial fuente de trabajo en cuanto a labores de mantenimiento y reparación, tal como lo menciona IPCC (2011). En este sentido el potencial uso de SNC podría implementarse con la ayuda de mecanismos que permitan a los habitantes de la zona

instalar este tipo sistemas ya que se beneficiarían en el aspecto económico, ambiental y en nuevos conocimientos.

Aunque para los habitantes de la vereda San Jorge el principal criterio de aceptación hacia la potencial utilización de sistemas no convencionales de energía es el económico, es importante mencionar que la implementación de un SNC contribuiría a la disminución de CO₂ y de GEI en el 270% a los 20 años de servicio, acorde a lo concluido por (Nakataa, Kuboa, & Lamontb, 2005) y (Goel & Sharma, 2017), este hecho representa un aporte importante al desarrollo sostenible y al medio ambiente pues una disminución de ese tamaño claramente es beneficiosa para los habitantes de la vereda, alineándose con el objetivo siete de los objetivos del milenio “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”.

(Kolhe, Udumbara, & Gunawardana, 2015) Concluyo que la implementación de un sistema híbrido es económicamente viable, la presente investigación al igual que este autor establece que la potencial utilización del sistema Grid Connect aunque implica una inversión más alta tiene un aumento menor en el tiempo al sistema convencional y a partir del año 20 este comienza aumentar en una mayor proporción impactando a los usuarios, de este modo la disminución del costo en el tiempo significa un aporte al desarrollo sostenible, social y humano pues dicha disminución puede contribuir al aprovechamiento de los recursos ahorrados en otras necesidades del hogar.

Durante la aplicación de los cuestionarios, se determinó que el 8.5% de los hogares encuestados no cuenta con una ducha eléctrica, en una zona a 2800 msnm tomar una ducha de agua caliente es una pequeña muestra de bienestar para los habitantes que se puede ser posible por medio de la implementación de las energías no convencionales, por otro lado el 57% de los hogares cuentan aún con estufas de leña o carbón ya que en la zona no se cuenta con línea de gas natural y el uso de una estufa eléctrica o a gas incrementa considerablemente los costos del hogar, mediante la potencial utilización de sistemas no convencionales de energía en la zona, los habitantes podrían hacer uso de estufas eléctricas sin preocupación a un incremento en su factura y de esta manera desestimular el uso de la estufa de carbón o leña, que contribuye a la contaminación.

Finalmente, esta investigación aporta al desarrollo sostenible, social y humano pues a través de la evaluación y resultados arrojados por esta se puede observar que de llegarse a desarrollar un proyecto encaminado al uso de las energías no convencionales, la comunidad tendría una transformación de su entorno y de las vidas de sus habitantes, mejorando sus ingresos, haciéndolos pioneros en la zona gracias a la implementación de este tipo de tecnologías, dándoles una nueva fuente de ingresos como productores de energía o como técnicos concedores de la tecnología.

5 CONCLUSIONES

Luego de la caracterización de los parámetros ambientales y de demanda de energía de la vereda San Jorge en el municipio de Zipaquirá, se concluyó que el potencial uso de energía eólica no es viable, puesto que la velocidad del viento se encuentra en un rango de 2,15 a 2,85 m/s, lo cual no es suficiente para la generación de energía a partir de esta fuente no convencional. Se requieren valores mínimos de velocidad del viento de 3 m/s, para que la energía eólica pueda ser tenida en cuenta como una opción de generación.

Con la caracterización se determinó que los sistemas no convencionales solares fotovoltaicos tipo Grid Connect y Stand Alone, cuentan con potencial para la generación de energía en la vereda, capaz de suplir la demanda promedio de energía de los hogares, con una radiación solar mínima de 3,5 wh/m²/día.

En la zona de estudio no se cuenta con la infraestructura suficiente para la medición de parámetros como radiación solar y velocidad del viento, en el momento solo se cuenta con la estación de la Universidad Militar Nueva Granada, con el atlas de velocidad del viento y de radiación solar del IDEAM, este último es una excelente iniciativa y debe ser complementada a través de la instalación de equipos de última tecnología que permitan la toma de datos y la generación de bases más robustas en puntos más cercanos a la vereda San Jorge.

Desde el aspecto económico el SC en al año 20 de la instalación tendrá costos superiores al de un SNC Grid Connect y adicionalmente beneficiará a los usuarios a partir de su instalación puesto que por medio de la generación de energía eléctrica permite en la ley colombiana la venta de excedentes.

Teniendo en cuenta la matriz de alternativas de los tres criterios (costo, GEI y confiabilidad), se pudo establecer qué, para los 6 meses de instalación y 1 año, la mejor alternativa es el SC, a partir del año 5 hasta el 20 la mejor alternativa es el SNC Grid Connect. En el año 20 también se presenta un dato interesante al evidenciar que el SNC Stand Alone empieza a superar en puntaje al SC. Esto permite concluir que el sistema Grid Connect es una alternativa viable para la implementación en una zona rural y se reafirma con el tiempo sobre los demás sistemas.

Frente a la huella de carbono la disminución de GEI de los SNC Grid Connect, Stand Alone con 1473,6, 1868,62 KgCO₂eq respectivamente, Vs. 6914,88KgCO₂eq, indican que el SNC representa una reducción de los GEI.

La confiabilidad del servicio en las tres opciones es favorable. El SC de energía es el que ofrece mayor porcentaje de disponibilidad en el tiempo seguido por el SNC Grid Connect y por el SNC Stand Alone. Este último, tiene una caída en el porcentaje de la fiabilidad en el momento que sus baterías llegan al final de su vida útil.

La inversión inicial puede verse como una limitante para la instalación de cualquiera de los dos SNC de energía de los habitantes de la vereda San Jorge, esto abre una oportunidad para entidades financieras hacia la creación de sistemas de crédito asequible que permita que las comunidades rurales puedan adquirir este tipo de tecnologías desde un inicio y en el caso SNC Grid Connect se perciba como una inversión y no como un gasto al poder vender excedentes a la red nacional, esta también es una potencial fuente de trabajo en cuanto a labores de mantenimiento y reparación se refiere.

La venta de excedentes al sistema de red nacional puede ser motivo de una investigación acerca de cuál sería el método más adecuado para dicha compensación y cuál sería su impacto sobre la economía, el desarrollo social y humano de las zonas y las personas auto generadoras de energía, puesto que aún no es clara la compensación estipulada en la resolución CREG 030 de 2018 que reglamenta la ley 1715 de 2014.

La diferencia en el costo inicia entre un sistema convencional y un sistema convencional stand alone es del 51%, el gobierno podría generar auxilios para la financiación y así beneficiar a los habitantes dándoles la oportunidad de convertirse en generadores de energía y a la vez agentes de cambio hacia el uso de energías no convencionales.

Los habitantes de la vereda San Jorge le dan importancia al cuidado del medio ambiente y son conscientes que la implementación de un sistema no convencional sería favorable para este, a pesar de esto la investigación determinó que el aspecto económico es el punto de inflexión y debe ser tenido en cuenta de manera prioritaria para la toma de la decisión de instalar o no un sistema no convencional.

La implementación de este tipo de tecnologías en la vereda San Jorge debe ir acompañada de campañas por parte de representantes del gobierno local, líderes comunales y estudiantes universitarios encaminando a la comunidad y a las nuevas generaciones, haciéndoles ver la importancia no solo ambiental sino también la social y como estas impactan positivamente sobre el desarrollo de la comunidad.

Durante la realización de esta investigación se pudo evidenciar que más del 57% de los hogares que respondieron al cuestionario, usan estufas de leña, muchos de sus habitantes argumentan que el uso de este tipo de estufa se debe a la falta de una red de gas natural y al alto costo de un cilindro de gas propano, de este hecho se puede generar la investigación sobre métodos de producción de gas a partir de biomasa o estiércoles provenientes de la ganadería de la zona.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Mendoza, A. M., Díaz Mendoza, C., & Pasqualino, J. (2017). Renewable energy potential analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipelago, Colombia. *Ecological Engineering*, 10-21.
- Begoña, V. (2007). *TEORÍA DE LA DECISIÓN: Decisión con Incertidumbre, Decisión Multicriterio y Teoría de Juegos*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Biswas, W., Bryce, P., & Diesendorf, M. (2001). Model for empowering rural poor through renewable energy technologies in Bangladesh. *Environmental Science & Policy*, 333-334.
- Celemín Cuellar, M. A. (2016). *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda San Roque en el municipio de Ortega-Tolima*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Chindanand, F., & Gopalan, S. (2018). LOW COST, HIGHLY RELIABLE RURAL ELECTRIFICATION THROUGH A COMBINATION OF GRID EXTENSION AND LOCAL RENEWABLE ENERGY GENERATION. *Sustainable cities and society*, 1 - 24.
- Deng, Y., Cornelissen, S., & Klaus, S. (2011). *THE ENERGY REPORT - 100% renewable energy by 2050*. Switzerland: WWF International.
- Departamento de Energía EE.UU. (2007). *Sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad*. Obtenido de Office of Energy Efficiency & Renewable Energy: http://apps2.eere.energy.gov/wind/windexchange/pdfs/small_wind/small_wind_guide_spanish.pdf
- Dunn, A. (2013). *Photovoltaics*. Londres.
- Esteve Gomez, N. (2011). *ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS A PARTIR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES SOLAR Y EÓLICA*. Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Gevelt, T. v., Holzeis, C. C., Fennell, S., Heap, B., Holmes, J., Depret, M. H., . . . Safdar, M. (2018). Achieving universal energy access and rural development through smart village. *Energy for Sustainable Development*, 139–142.
- Ghafoor, A., & Munir, A. (2015). Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 496-502.
- Goel, S., & Sharma, R. (2017). Performance evaluation of stand alone, grid connected and hybrid renewable energy systems for rural application: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1378 - 1389.

- IEEE 1013. (2007). *IEE Recommended practice for sizing lead-acid batteries for stand-alone photovoltaic (PV) systems*. New York: IEEE.
- Kolhe, M. L., Udumbara, K. I., & Gunawardana, S. (2015). Techno-economic sizing of off-grid hybrid renewable energy system for rural electrification in Sri Lanka. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53-64.
- Ladino Peralta, R. E. (2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en áreas rurales de Colombia (CASO: VEREDA CARUPANA, MUNICIPIO DE TAURAMENA-CASANARE)*. Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Lopez Gómez, A., Arredondo, C. A., Luna, M. A., Villegas, S., & Hernández, J. (2014). Regulating the Integration of Renewable Energy in Colombia: Implications of Law 1715 of 2014. *Universidad de Medellín*, 3317 - 3321.
- Mamaghani, A. H., Avella Escandona, S. A., Najafi, B., Shirazi, A., & Rinaldia, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 293-305.
- Nakataa, T., Kuboa, K., & Lamontb, A. (2005). Design for renewable energy systems with application to rural areas in Japan. *Elsevier - Energy Policy*, 209-219.
- NASA Officia. (13 de 09 de 2017). *Atmospheric science data center*. Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>
- NTC 2050. (1998). *CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO NTC 2050*. BOGOTA: ICONTEC.
- Pinto Siavato, F. (2004). Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán. *Cuadernos de desarrollo rural*, 103 - 132.
- Radomes Jr., A. A., & Arango, S. (2015). Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaic system support schemes in Medellín, Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 1-10.
- Rosso Ceron, A. M., & Kfarov, V. (2015). Barriers to social acceptance of renewable energy systems in Colombia. *Chemical engineering*, 103-110.
- Ruiz, B., & Rodriguez Padilla, V. (2005). Renewable energy sources in the Colombian energy policy, analysis and perspectives. *Energy policy*, 3684-3690.
- Sampieri, H. R., Collado, F. C., & Lucio, B. P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Silva Herran, D., & Nakata, T. (2016). Renewable technologies for rural electrification in Colombia: a multiple objective. *International Journal of Energy Sector Management*, 139-155.
- Triviño, C. (18 de 06 de 2016). Entrevista tesorero acueducto veredal San Jorge, Zipaquirá. (C. A. Navarrete, & J. C. Tinjacá, Entrevistadores)
- Zuluaga, M. M., & Dyer, I. (2007). Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case. *Cleaner Production*, 153-152.