

PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ZONAS APARTADAS DE COLOMBIA

Diego Alejandro HERNÁNDEZ RÍOS*

Oscar Leonardo ACOSTA OCHOA*

Gustavo Adolfo SALAS OROZCO**

Resumen

Las soluciones de energía renovables son en la actualidad parte de los proyectos que buscan promoción por parte de los gobiernos, comunidades y sector privado. Este artículo busca exponer una investigación sobre posibles soluciones de suministro energético para comunidades vulnerables y apartadas en Colombia. También busca ser un referente sobre opciones disponibles que pueden ser ejecutadas, y con ello estudiar la viabilidad de las mismas, tomando en cuenta criterios de impacto social, ambiental y económico que cada región y territorio estudiada tendrá en consideración.

Abstract

Renewable energy solutions are currently part of the projects that seek promotion by governments, communities and the private sector. This article seeks to present research on possible energy supply solutions for vulnerable and remote communities in Colombia. It also seeks to be a reference on available options that can be implemented, and thereby study their viability, taking into account criteria of social, environmental and economic impact that each region and territory studied will take into consideration.

Palabras claves: energías renovables, suministro energético, comunidades vulnerables. Soluciones energéticas.

Keywords: renewable energy, energy supply, vulnerable communities. Energy solutions.

I. Introducción

La utilización de energías renovables en zonas apartadas de Colombia, puede ser una solución eficiente y sostenible para proporcionar acceso a energía, a comunidades que se encuentran alejadas de la red eléctrica convencional.

Es importante destacar, que la implementación de estas opciones de energías renovables en zonas apartadas de Colombia, debe ir acompañada de un enfoque integral que aborde la educación, la capacitación y la promoción de prácticas sostenibles. Además, es necesario tener en cuenta que la implementación de energías renovables, puede requerir una inversión inicial significativa, que a largo plazo puede resultar en ahorros significativos en cuanto a costos y una significativa reducción en la dependencia de los combustibles fósiles.

*Ingeniero Industrial. Universidad de América. Bogotá, Colombia. **Profesor del Departamento de Industrial. Universidad de América. Colombia. Msc. Gerencia del Comercio Internacional. Universidad Nacional de Costa Rica diego.hernandez3@estudiantes.uamerica.edu.co, oscar.acosta@estudiantes.uamerica.edu.co, gustavo.salas@profesores.uamerica.edu.co

En un país como Colombia al igual que gran parte de los países latinoamericanos, se cuenta con una gran variedad de locaciones geográficas que comparten diferentes limitaciones y dentro de estas uno de los más comunes denominadores, es la dificultad en el acceso a servicios públicos, pues, aunque se cuente con este, el servicio no se brinda de forma constante y en ocasiones puede ocasionar que la población sobreviva sin el suministro durante un largo periodo, es por esto, que ante el surgimiento de diversas fuentes de energía renovable surge la posibilidad de que algunas de estas propuestas energéticas tengan una viabilidad para funcionar de forma eficiente gracias a ciertas características como altitud, condiciones climatológicas, y entorno de fauna y flora.

2. Marco referencial

MARCO LEGAL

Políticas y marco Normativo para ZNI

Mediante la Ley 1715 del 13 de mayo de 2014, el gobierno colombiano incentiva el uso de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, “como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, con el fin de cubrir el déficit de energía eléctrica en zonas vulnerables donde no llega el sistema interconectado”[16], a partir de lo anterior, se dio paso a la incorporación de diferentes energías renovables No convencionales, con el fin de reducir, de igual forma la contaminación emitida por el suministro de energía tradicional que hace uso de combustibles fósiles, donde consecutivamente se crea el FENOGÉ (*Fondo de energías no convencionales y gestión eficiente de la energía*), que en “los artículos 19 y 20 se habla del desarrollo de la energía solar y eólica con el fin de aprovechar los recursos en las zonas aisladas”[16].

Mediante la creación de la Ley 1715 de 2014, se dio el primer gran paso del país para dar inicio a la transformación energética, donde se marca el desarrollo sostenible y sustentable, mediante la generación de incentivos a las empresas inversionistas animándolas a estructurar proyectos de generación eléctrica que se interconecten con el sistema nacional o local[16], adicionalmente con la iniciativa realizada con el decreto 2143 de noviembre de 2015, se espera promover la diversificación de la oferta energética a través del uso de energías renovables[12]

MARCO TEORICO

Zonas no interconectadas (ZNI): Son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional [17]

Vientos Alisios: “Son corrientes de viento que soplan de forma casi constante durante el verano del hemisferio Norte e irregularmente en el invierno” [18], su efecto se da entre el Ecuador y los trópicos, se conoce como la zona de convergencia intertropical, donde se encuentran vientos de fuerza moderada y una velocidad media de 20 km/h [19]

Generadores Eólicos: Las tecnologías eólicas terrestres y marinas utilizan tecnología de turbinas para aprovechar la energía del viento para el suministro de energía [20]

Plantas hidroeléctricas: La principal fuente de generación de energía, es el agua, generalmente se almacena en ríos, delimitados por una presa [21], es una de las fuentes renovables más utilizadas en la actualidad y “hace uso del caudal de agua que permite el accionamiento de una turbina que, a su vez, enciende un generador eléctrico” [21]

Plantas Fotovoltaicas: Utiliza células solares, para convertir la luz solar directamente en electricidad [20], puede ser utilizada como fuente de energía para sistema de

calefacción como para refrigeración, de esta manera solo es necesario el acceso a la radiación solar para poder utilizar colectores o concentradores solares, para la generación de la energía eléctrica [21]

Rayos UV: Los rayos ultravioletas (UV) son una forma de radiación electromagnética que se encuentra en la luz solar [22] y en las luces artificiales.

Biomasa: Generalmente se utiliza para la producción de calor por combustión y procesos indirectos de biocombustible, se puede obtener a través de diversos materiales biológicos, de organismos vivos, plantas y derivados de plantas [21]

Fotosíntesis: Es el proceso natural que las plantas realizan donde aprovechan los recursos orgánicos como nutrientes y microorganismos que le permiten su crecimiento normal, “El proceso de generación de energía a partir de la fotosíntesis se lleva a cabo por medio de la excitación de electrones, permite captar los electrones excedentes y así hacer la rizo deposición, se implementa una pila eléctrica por medio de un par de electrodos, que permite transformar la energía química en energía eléctrica”[23]

Triboelectricidad: Es un fenómeno en el que se produce electricidad estática por medio del contacto y la separación de dos materiales diferentes, “La fricción no es la única manera de aprovechar el potencial triboeléctrico. Por ejemplo, una membrana triboeléctrica puede generar una corriente gracias al impacto de las gotas de lluvia” [24]

MARCO CONCEPTUAL

Energías Renovables: Son un tipo de energía derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse [2] y se encuentran presentes en el entorno natural del planeta, algunos ejemplos son la luz y el viento.

Energías No renovables: Las fuentes de energía que constituyen estas son aquellas que tardan cientos de millones de años en formarse, por lo general producen energía al quemarse [2], un ejemplo de estas energías son los combustibles fósiles como el carbón el petróleo y el gas [25].

Huella de carbono: Representa la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se emitieron a la atmósfera por medio de alguna actividad humana [26]

Cambio Climático: “Se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes” [27], sin embargo, las actividades humanas han influenciado en el incremento mediante el uso de combustibles fósiles, para alimentar las energías más utilizadas en la actualidad como lo son las energías No renovables.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Son 17 objetivos planteados por las Naciones Unidas “como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad” [3]

3. Planteamiento del problema

En la sociedad, la energía eléctrica ha sido pieza fundamental en el desarrollo y evolución del ser humano, proporcionando bienestar y calidad de vida a las comunidades en todo el mundo, sin embargo, el acceso a ella no se ha logrado suministrar de forma equitativa, un ejemplo muy claro es el caso de muchas zonas apartadas de Colombia, pues, el acceso a esta esta fuente de energía vital, se convierte en un desafío constante.

En regiones rurales y remotas, la falta de oportunidades se incrementa ante la carencia de una infraestructura eléctrica adecuada. Esta situación se convierte en un obstáculo para el progreso socioeconómico y limita el potencial de estas comunidades e incluso el desarrollo de todo el país.

En un país tan diverso y geográficamente complejo como Colombia, las zonas apartadas enfrentan dificultades únicas en cuanto al acceso a la energía eléctrica. Caracterizadas por terrenos escarpados, dispersión poblacional y falta de inversiones en infraestructura, estas áreas rurales quedan relegadas a un segundo plano, sin poder disfrutar de los beneficios que brinda la electricidad en términos de iluminación segura, educación de calidad, atención médica adecuada y desarrollo de actividades económicas sostenibles, de esta forma se ha podido evidenciar y afirmar lo anteriormente mencionado gracias a el censo realizado por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística)[1], donde se puede extraer que cerca de un 95 % de los municipios presentan una inconformidad mayor o igual al 10%, en relación, a la insatisfacción en lo que se refiere a la accesibilidad de los servicios públicos.

El acceso limitado a la energía eléctrica genera un ciclo de desigualdad y marginación, que perpetúa la brecha entre las zonas urbanas desarrolladas y las áreas rurales desfavorecidas. Es crucial abordar este problema de manera integral y encontrar soluciones innovadoras, que permitan superar los desafíos técnicos, financieros y logísticos que impiden el acceso equitativo a la energía eléctrica en estas comunidades apartadas.

En este contexto, es fundamental reconocer la importancia de proporcionar acceso a la energía eléctrica en estas zonas, pues, aunque se cuente con este, el servicio no se brinda de forma constante y en ocasiones puede permanecer la población sin el suministro durante un largo periodo, es por esto que ante el surgimiento de diversas fuentes de energía renovable, definidas por la ONU como un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que se pueden consumir[2].

Abren la posibilidad de no solo se satisfacer un derecho básico de las personas, sino que también ser un catalizador e impulsador para el desarrollo inclusivo y sostenible. Al brindar energía a estas comunidades, da paso a mejores oportunidades educativas, acceso a información y tecnología, impulso de emprendimientos locales y mejora en la calidad de vida de sus habitantes.

En el siguiente análisis, exploraremos en detalle las causas subyacentes de este problema. Además, nos enfocaremos en la búsqueda de soluciones viables y sostenibles que permitan llevar la energía eléctrica a estas comunidades, promoviendo así un desarrollo equitativo y garantizando un futuro próspero para todos, generando una solución que vaya de la mano de los Objetivos de desarrollo sostenible [Tabla.1] y el apoyo constante de los gobiernos en el cuidado y la preservación del medio ambiente donde se busca día a día poder solucionar de forma asertiva estos objetivos con las estrategias más convenientes en relación a factores económicos y de rendimiento energético.

ODS	1. Fin de la pobreza	2. Hambre Cero
3. Salud y Bienestar	4. Educación de calidad	5. Igualdad de genero
6. Agua limpia y saneamiento	7. Energía asequible y No contaminante	8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, Innovación e infraestructura	10. Reducción de las desigualdades	11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsables	13. Acción por el clima	14. Vida submarina
15. Vida de ecosistema terrestres	16. Paz, Justicia e instituciones solidas	17. Alianzas para lograr los objetivos

Tabla.1. Listado de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) [3]

Es por esto que, Colombia no es un país ajeno a esta situación que requiere cuidado a nivel mundial, por el contrario es necesario considerar esta problemática con mayor prioridad debido a que en el territorio Colombiano, existen múltiples localizaciones que cuentan con una baja densidad poblacional o la topografía de algunas regiones no justifican la realización de proyectos de electrificación [4], ante esto, surge la necesidad de plantear nuevas formas de generación de energía que permita aprovechar y hacer uso en una mayor cuantía de estos recursos naturales.

4. Antecedentes

La creciente demanda mundial de energía, combinada con la preocupación por los efectos del cambio climático, ha llevado a un renovado enfoque hacia lo que se consideraba en relación a las fuentes de energía renovable, con el fin de hacer frente el aumento inminente de la demanda y/o consumo energético primario, en donde la energía necesaria se va a producir a través de combustibles fósiles en los países en desarrollo, pero de igual forma a través de energías renovables [5] y gracias a esto los países han iniciado a enfocar sus esfuerzos, en realizar una cooperación mundial para encontrar estrategias que aporten a un bien común, el cual es la búsqueda de fuentes energéticas que reduzcan el impacto ambiental y se presente un suministro de energía sostenible, que mejore la calidad de vida de las comunidades, a partir de lo anterior, cada vez es más común evidenciar que más países miembros de la OCDE (La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) se suman al uso de energías renovables[5] .

Colombia al convertirse en miembro el 28 de Abril de 2020 no es la excepción, aunque ha venido aplicando transitoriamente algunas fuentes de energía, puede utilizar modelos de aplicación y propuestas de utilización en países y provincias que cuenten con características similares, con el fin de realizar una identificación de aspectos geográficos, topográficos, climatológicos y un acercamiento más real a el funcionamiento de algunas fuentes renovables en zonas con características similares de LATAM, como es el caso del articulo *El manejo de fuentes renovables de energía para el desarrollo local*

endógeno y sostenible de Manabí, realizado por Antonio Vásquez[6], en donde se realizó un estudio sobre la viabilidad de aplicar energías renovables en la provincia de Manabí tomando en cuenta algunos proyectos de fuentes energéticas aplicados en otras provincias de Ecuador, finalmente el estudio arrojó una viabilidad alta de aplicación de estas energías gracias a la diversidad geográfica presente en esta localización, sin embargo, se logró evidenciar que el marco jurídico ha sido un factor determinante en el retraso económico y social de la provincia[6] por lo tanto, es necesaria la adopción de un marco jurídico que se adapte a las condiciones concretas de la provincia[6].

A partir de lo anterior, es posible iniciar una identificación de las diferentes características propias de Colombia con el fin de determinar factores endógenos del territorio y de igual forma toma dependencia de las condiciones de operación de las fuentes utilizadas, pues la generación de energía distribuida puede mejorar la confiabilidad de los sistemas de distribución [7], de acuerdo a esto, se procede a estudiar algunas de las características y zonificación climática evidenciada, iniciando por la región andina que posee el 12.7% del total del país. Su relieve, típico andino, es tan abrupto como variado[8] que permite tener una gran diversidad de terrenos y la presencia de un factor común como los vientos alisios del este y noroeste [9], generando la presencia de unas constante corrientes aéreas dominantes en las zonas montañosas y en la zonas costeras del caribe, en relación a los acontecimientos mencionados, resaltan dos fuentes de energía que tienen una alta capacidad de adaptación y que podrían aportar un alto porcentaje de eficiencia energética al territorio.

Estas fuentes han venido adquiriendo mayor importancia a nivel mundial con el pasar del tiempo, en específico, se relacionan las mini hidroeléctricas las cuales han sido aplicadas generando una ventaja como alternativa energética en países como “China, en donde, son pioneros en la implementación de pequeñas plantas en zonas rurales con difícil acceso a las redes eléctricas”[10] y que gracias a este caso exitoso de aplicación cada vez más países como Alemania, Brasil, España entre otros se han ido sumando a la adopción de esta alternativa energética, al potenciar el abastecimiento energético del país, en zonas interconectadas como aquellas aisladas [10] y que contribuyen una solución al medio ambiente al no incurrir en altos costos de construcción y se presenta como una gran opción en zonas de difícil acceso, como las regiones montañosas[10], de acuerdo a esto y como refuerzo, Colombia posee una gran capacidad hidráulica posicionándola como el 4to país[10] con mayor capacidad hidráulica del mundo.

Continuando con la idea anterior, las siguientes fuentes energéticas que adquieren una gran relevancia son los generadores eólicos, los cuales funcionan apropiadamente en zonas donde existen fuertes corrientes de viento como los vientos alisios otorgándole a Colombia un alto potencial y viabilidad para la implementación de la energía eólica[11] así como se menciona el artículo *A SWOT Analisis for Wind Energy Potential Assessment in Colombia*, realizado por Martínez-Hernández, J. et al; resulta ser un fuente energética que puede emplearse en mejor medida en la guajira y la región caribe[11].

Por otra parte existen otras energías que tienen la posibilidad de ser empleadas en cualquier localización del territorio Colombiano, como es el caso de la energía fotovoltaica la cual solo requiere una adecuada valoración del recurso y su

disponibilidad, a partir de esto, gracias a la gran diversidad de flora presente en el país y el acceso disponible al sol en gran parte del territorio Colombiano, salvo en algunos lugares con niveles de nubosidad alto[12], es una solución viable que acompañada de otra fuente de energía como apoyo, sería una gran opción y podría tener una sinergia que aumentaría la eficiencia energética, en conjunto, aprovechando la gran disponibilidad de recursos hídricos y empleando la energía hidráulica con una fuente como las plantas mini hidroeléctricas en zonas de difícil acceso a la red eléctrica tradicional[10], generaría un gran impulso en el desarrollo de las comunidades e impulsaría el desarrollo humano al racionalizar y utilizar de forma responsable los recursos del planeta para satisfacer la creciente demanda energética[13].

En complemento a lo mencionado anteriormente, cada vez es más relevante la adopción de energías y tecnologías en la generación de la energía eléctrica, pues, como se ha mencionado en algunos párrafos anteriormente el desarrollo humano viene acompañado de necesidades crecientes de energía[13] y, así mismo, como las industrias adoptan diferentes estrategias para reducir su impacto de huella de carbono, cada día es más conocido que el sector energético camina hacia una importante revolución en donde lo eléctrico, digital y renovable impactaran todos los sectores en busca de mejorar la calidad de vida de las civilizaciones actuales y futuras.

Es por esto que, hay que hacer uso de las diferentes herramientas, estrategias y tecnologías que algunas empresas del sector industrial han empezado a innovar con el fin de garantizar que las fuentes de energías alternativas que han iniciado a utilizar y cumplen de manera satisfactoria los requerimientos en temas de durabilidad y eficiencia puedan ser aprovechados al máximo y del mismo.

Por ejemplo, un caso de investigación planteado con el fin de ser utilizado con fines industriales, contempla el hecho de que al momento de realizar la instalación de plantas solares, se debe realizar una correcta planeación de adaptabilidad, tomando en cuenta factores donde se “maximice la durabilidad, realizar una menor cantidad de mantenimiento y tener una mayor rigidez que reduzca la posibilidad de una calibración por movimientos no deseados”[14].

En el futuro, esta clase de investigaciones son relevantes debido a que en el sector industrial en gran parte de su ejercicio se contemplan situaciones extremas como espacios polvorientos y contaminantes propios de las áreas industriales, y que a pesar de esto pueden continuar su operación con altos niveles de eficiencia y sin interrupción, tomando en cuenta estos estudios pueden ser de gran ayuda para establecer un correcto estudio de localización que permita a las comunidades más vulnerables obtener el servicio de energía sin tener la preocupación de realizar constantes mantenimientos correctivos.

Ello permitirá que organismos dedicados a la equitativa distribución de los servicios públicos a las poblaciones vulnerables como el Fondo De Solidaridad Para Subsidios y Redistribución de Ingreso(FSSRI) puedan ejecutar sus planes con mayor eficacia, porque en la actualidad estas instituciones no cuentan con un principio básico de focalización, pues los recursos de subsidios deberían dirigirse a la población de menores ingresos[15].

5. Justificación y objetivos

El presente trabajo de investigación busca realizar una identificación de las características similares que comparten las zonas apartadas de Colombia segmentadas por características propias de cada región en donde se logre identificar un factor común en aspectos geográficos y climatológicos de estas zonas y así mismo dando prioridad en los municipios donde mayor grado de insatisfacción frente al acceso de servicios públicos,

Una vez analizados estas comunidades más vulnerables, se continuará con la identificación y caracterización de las diferentes fuentes renovables existentes en el mercado y de algunas de las nuevas fuentes ofrecidas presentando características innovadora, estas fuentes renovables serán presentadas en una matriz con el fin de presentar su funcionamiento de forma clara, donde se evidencie la eficiencia energética suministrada por cada uno de estos recursos energéticos, adicionalmente se presentarán las condiciones climatológicas esperadas para que puedan operar con los más altos niveles de eficiencia.

5.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta para la utilización de energías renovables en zonas apartadas de Colombia

5.2. Objetivos específicos

- Identificar las zonas apartadas o de difícil acceso a la fuente de energía eléctrica o tradicional
- Describir las energías renovables existentes mediante características de eficiencia energética.
- Reconocer las soluciones de energía renovable más convenientes para las zonas identificadas.
- Formular una matriz estratégica de energías renovables segmentadas por los diferentes tipos de zonas donde se contraste las diferentes alternativas.

6. Delimitación y Metodología

6.1. Delimitación

La delimitación del presente proyecto de investigación se realizará de forma nacional en el territorio de Colombia, mediante la identificación de factores comunes, presentes en las diversas regiones del país con el fin de poder generar una propuesta de utilización de las energías renovables mencionadas en la investigación que se pueda llegar a aplicar de forma general en los municipios presentes en cada una de estas regiones, con el fin de que la relación propuesta logre ser utilizada durante los próximos 5 años, esto tomando en cuenta el gran y ágil avance tecnológico que se presenta en el sector energético a nivel mundial.

La realización de este proyecto no implica su ejecución, ni la creación de una empresa. La duración del proyecto es de aproximadamente 5 meses a partir de la fecha de aceptación.

6.2. Metodología

El proyecto de investigación es de tipo mixto, tiene un alcance descriptivo al identificar elementos para el desarrollo de proyectos de energía renovables en comunidades apartadas de acuerdo con las características de la zona.

Posterior se hizo un balance de relación costo de la tecnología frente al impacto en la comunidad, y se hará una matriz de alternativas de energías a implementar.

De manera consecuente, se dará un análisis de las mejores opciones para cada comunidad en el uso de las diferentes alternativas de proyectos energéticos renovables.

7. Resultados

El acceso a la energía eléctrica en las zonas apartadas de Colombia sigue siendo un desafío importante. Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP) de Colombia, en 2018, aproximadamente el 12% de la población rural del país no tenía acceso a la energía eléctrica, lo que equivale a cerca de 2.4 millones de personas.

Además, según el mismo informe del DNP, la calidad de la energía eléctrica que se proporciona en algunas zonas rurales de Colombia es deficiente, lo que puede afectar la productividad y la calidad de vida de las personas que viven en estas áreas.

A pesar de estos desafíos, se han producido algunos avances en el uso de energías renovables en zonas apartadas de Colombia. De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía, en 2021, se instalaron 40 sistemas de generación de energía eléctrica los cuales a partir de fuentes renovables no convencionales (eólica, solar y biomasa) en zonas rurales del país, lograron beneficiar a más de 6.000 personas; Esto ha logrado evidenciar el interés público y privado en la adopción de energías para satisfacer las necesidades de las poblaciones más vulnerables, sin embargo, estas acciones son insuficientes ante la creciente demanda que aumenta al transcurrir los años.

En consecuencia de la información recopilada y con el fin de lograr identificar, analizar y estudiar las condiciones de acceso a los servicios considerados esenciales, para así garantizar una digna calidad de vida de los ciudadanos, se tomaron como muestra para esta investigación los 30 municipios con mayores necesidades en acceso de energía eléctrica según el DANE, con el fin de comparar las principales características demográficas, climatológicas y demás variables que pueden ser requeridas para obtener una mayor probabilidad en términos de viabilidad en la aplicación de las energías analizadas.

Para identificar las soluciones de energía más viables se inició por valorar las diferentes opciones disponibles o en desarrollo en la actualidad:

Como variables para evaluar cada solución se analizó:

- ✓ Eficiencia Energética
- ✓ Adaptabilidad
- ✓ Valoración de la inversión
- ✓ Capacidad de Generación
- ✓ Impacto ambiental (Positivo)

Estas variables fueron cruzadas por los municipios de departamentos de poco desarrollo y que como se mencionó tuvieran un alto porcentaje de carencia del recurso energético.

A partir de lo anterior se obtuvieron doce matrices de este proceso, que involucraron el desarrollo, a manera de ejemplo como se evidencia en la Imagen 1, del cálculo de las soluciones de energía en los municipios evaluando cada uno de los criterios mencionados de manera específica.

Municipios	Variables	Peso de las variables %
PANA PANA (ANM)	Eficiencia Energetica	25%
	Adaptabilidad	22%
	Valoración de la inversion(Alta, Media, Baja)	15%
	Capacidad de Generación	18%
	Impacto ambiental	20%

Imagen 1. Fuente: Elaboración propia

A continuación se demuestran de forma resumida los resultados que se obtuvieron respecto a que tipo de fuente de energía renovable hace mejor sinergia, en los diferentes departamentos tomando como resultado el promedio de calificación de los 3 municipios con mayor necesidad en el acceso a la energía eléctrica.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Guainia	PANA PANA (ANM)	2,25	8,45	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,98		
		1,2		
		1,62		
		1,4		
	PUERTO COLOMBIA (ANM)	2,25	8,23	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,4		
	SAN FELIPE (ANM)	2,25	8,23	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,4		

Imagen 2. Fuente: Elaboración propia

En el departamento de Guainía para los municipios pana pana, puerto Colombia y San Felipe se pudo observar que la fuente de energía renovable que mejor se adapta a las necesidades de la zona en términos climatológicos, demográficos y obtuvo una mayor calificación de las variables mencionadas anteriormente con un promedio de los departamentos de 8.30, como se observa en la imagen 2, dejando en evidencia, que la solución más viable y con mayores probabilidades de ser un éxito en la aplicación son las **micro hidroeléctricas** ya que esta región se caracteriza por ser una de las más vulnerables en el territorio nacional de Colombia, principalmente por su lejanía y dificultad de acceso mediante vías terrestres que permitan la conexión con el interior del país.

De acuerdo con lo anterior al momento de realizar la calificación de las diferentes fuentes de energía, con el fin de localizar aquella que se adapte en mejor medida las necesidades de suministro, sin implicar en una inversión muy alta y que se contara con el recurso natural necesario para cumplir con la demanda energética necesaria para los municipios utilizados, los cuales contaban con factores en común, como por ejemplo, al situarse en la región Amazónica se caracterizan por un clima tropical, cálido y húmedo durante la mayor parte del año y adicional a ello es una región rodeada en su mayoría por vertientes que permiten el tránsito de lanchas y con una facilidad en la incorporación de las plantas de generación de energía micro hidroeléctricas, sin afectar en gran medida el tránsito del recurso hídrico.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Vaupes	PACOA (ANM)	2,25	8,25	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,98		
		1,2		
		1,62		
		1,2		
	PAPUNAUA (ANM)	2,25	8,25	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,98		
		1,2		
		1,62		
		1,2		
	TARAIRA	2,25	8,25	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,98		
		1,2		
		1,62		
		1,2		

Imagen 3. Fuente: Elaboración propia

En el departamento de Vaupés para los municipios Pacoa, Papunaua y Tamara se observó que la fuente de energía renovable que mejor se adapta a las necesidades de la zona en términos climatológicos, demográficos y obtuvo una mayor calificación de las variables mencionadas anteriormente con un promedio de los departamentos de 8.25, como se observa en la imagen 3, dejando en evidencia, que la solución más viable y con mayores probabilidades de ser un éxito en la aplicación son las **micro hidroeléctricas** ya que al igual que el departamento de Guainía, hace parte de la región Amazónica y cuenta con las mismas dificultades que ubican al departamento como uno de los más

vulnerables en relación al acceso de la energía eléctrica del país. Así mismo permitió que se tomaran en cuenta las misma condiciones/características demográficas que rodean al departamento como clima tropical, cálido y húmedo durante la mayor parte del año con la presencia de una gran cantidad de ríos, que facilitarían la incorporación de esta fuente de energía en la región.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Choco	ISTMINA	1,5	6,3	FOTOSINTESIS
		1,32		
		1,2		
		1,08		
		1,2		
	LLORÓ	1,75	6,95	FOTOSINTESIS
		1,54		
		1,2		
		1,26		
		1,2		
	QUIBDÓ	1,75	6,95	FOTOSINTESIS
		1,54		
		1,2		
		1,26		
		1,2		

Imagen 4. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el departamento de Choco en el pacífico Colombiano, donde se comprenden los municipios de Istmina, Lloró y Quibdó se observó que la fuente de energía renovable que mejor se adapta a las necesidades de la zona en términos climatológicos, demográficos y no solo eso, de igual forma se consideró previos estudios que se realizó en el departamento donde se intentó la incorporación de energías como la hidroeléctrica, fotovoltaica y la eólica sin embargo hasta 2021, ninguna había sido efectiva, y adicionalmente con el apoyo de la mayor calificación de las variables mencionadas anteriormente con un promedio de los departamentos de 6.73 como se observa en la imagen 4, dejando en evidencia, a la **Fotosíntesis** como la mejor opción ya que en esta región se caracteriza por presentar una gran humedad durante todo el año y ser un clima tropical lluvioso, sumado a la diversidad en flora y fauna de la región, son variables que permiten que la fuente renovable tenga muy positivas posibilidades de ser aplicada de forma efectiva en el departamento.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Amazonas	LA PEDRERA (ANM)	2,25	8,03	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,2		
	LA VICTORIA (ANM)	2,25	8,03	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,2		
	MIRITI - PARANÁ (ANM)	2,25	8,03	MICRO HIDROELECTRICAS
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,2		

Imagen 5. Fuente: Elaboración propia

En el departamento del Amazonas para los municipios de la Pedrera, La victoria y Mirití-Paraná, al igual que en el departamento de Guainía y Vaupés al cruzar la información se observó que la fuente de energía renovable que mejor se adapta a las necesidades de la zona en términos climatológicos, demográficos y obtuvo una mayor calificación de las variables mencionadas con un promedio de los departamentos de 8.03, como se muestra en la imagen 5, dejando en evidencia, que la solución más viable y con mayores probabilidades de ser un éxito en la aplicación es las fuente de energía de micro hidroeléctricas, al situarse en la región amazónica, posee una gran cantidad de ríos y diferentes cuerpos de agua que pueden ser utilizados para satisfacer la demanda energética que se requiere.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Vichada	CUMARIBO	2,25	8,23	PANELES SOLARES
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,4		
	LA PRIMAVERA	2,25	8,23	PANELES SOLARES
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,4		
	PUERTO CARREÑO	2,25	8,23	PANELES SOLARES
		1,76		
		1,2		
		1,62		
		1,4		

Imagen 6. Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, en el caso del departamento de Vichada en los municipios de Cumaribo, La primavera y Puerto Carreño se observó que la fuente de energía renovable que mejor se adapta a las necesidades de la zona en términos climatológicos, demográficos y donde obtuvo una mayor calificación de las variables mencionadas anteriormente con un promedio de los departamentos de 8.23, como se muestra en la imagen 6, dejando en evidencia, que la solución más viable y con mayores probabilidades de ser un éxito en la aplicación son los Paneles Solares ya que en esta región se cuenta con previos estudios y al situarse en la sabana de la región Orinoquia es muy viable que esta fuente renovable sea la solución que se busca para poder cumplir con la demanda energética que se requiere en el departamento.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Bolívar	CLEMENCIA	1,75	6,49	PANELES SOLARES
		0,88		
		1,2		
		1,26		
		1,4		
	SAN JACINTO	1,75	6,75	EOLICA
		1,54		
		1,2		
		1,26		
		1		
	SANTA ROSA	2	6,74	PANELES SOLARES
		0,88		
		1,2		
		1,26		
		1,4		

Imagen 7. Fuente: Elaboración propia

En el departamento de Bolívar, se obtuvieron dos fuentes de energía renovable con gran adaptación, para el municipio de Clemencia y Santa Rosa la fuente que mejor resultados mostro fue los paneles solares, esto gracias a que en este departamento se cuenta con características que son cruciales para el desempeño óptimo de esta fuente de energía. Por otra parte, para el municipio de San Jacinto la fuente que mayor puntaje obtuvo fue la Eólica, de manera que el departamento de Bolívar cuenta con características idóneas para que tanto los paneles solares y turbinas eólicas puedan ser implementadas como solución a la falta de acceso de energía eléctrica en estas zonas apartadas del departamento de Bolívar.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Guaviare	CALAMAR	1,75	6,05	PANELES SOLARES
		0,44		
		1,2		
		1,26		
		1,4		
	EL RETORNO	1,5	6,92	PANELES SOLARES
		1,54		
		1,2		
		1,08		
		1,6		
	MIRAFLORES	2,25	8,87	MICRO HIDROELECTRICAS
		2,2		
		1,2		
		1,62		
		1,6		

Imagen 8. Fuente: Elaboración propia

En el departamento del Guaviare se obtuvo que para el municipio del Calamar la fuente de energía renovable que más se adaptó fue la de los paneles solares, de igual manera para el municipio de El Retorno que mostró una alta adaptabilidad con los paneles solares, pero para el caso del municipio de Miraflores se determinó que sus condiciones climatológicas se adaptan en mayor medida para las micro hidroeléctricas.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Magdalena	NUEVA GRANADA	0,75	4,55	EOLICA
		0,66		
		1,2		
		0,54		
		1,4		
	ZAPAYAN	1,5	7,14	EOLICA
		1,76		
		1,2		
		1,08		
		1,6		
	PUEBLO VIEJO	2	8,64	MICRO HIDROELECTRICAS
		2,2		
		1,2		
		1,44		
		1,8		

Imagen 9. Fuente: Elaboración propia

En el departamento del Magdalena los municipios de Nueva Granada y Zapayan dieron como resultado que la energía eólica es la más adaptable en estas regiones por las fuertes corrientes de aire que posee la zona, permitiendo que esta fuente de energía tenga un excelente desempeño y pueda brindarle a estas comunidades un buen servicio de energía eléctrica para las necesidades básicas de la región, para el caso del municipio de Pueblo viejo encontramos que la que mejor adaptación tuvo fueron las micro hidroeléctricas como solución a la insatisfacción de energía eléctrica en el municipio.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
Nariño	LA TOLA	2	8,24	MICRO HIDROELECTRICAS
		2,2		
		1,2		
		1,44		
		1,4		
	MOSQUERA	2,25	8,87	MICRO HIDROELECTRICAS
		2,2		
		1,2		
		1,62		
		1,6		
	MAGÜI	1,5	6,08	FOTOSINTESIS
		1,1		
		1,2		
		1,08		
		1,2		

Imagen 10. Fuente: Elaboración propia

En el departamento del Nariño encontramos que los municipios de La Tola y Mosquera tienen una mayor adaptación con las micro hidroeléctricas, esto debido a que tienen cerca de la región fuentes hídricas con una alta fuerza en las corrientes, este es un factor determinante en el funcionamiento de esta energía renovable para que pueda tener una mayor capacidad de generación de energía eléctrica.

Departamento	Municipios	Ponderación	Total	ENERGIA RENOVABLE
La guajira	MAICAO	1,25	5,23	PANELES SOLARES
		0,88		
		1,2		
		0,9		
		1		
	BARRANCAS	1	5,02	EOLICA
		1,1		
		1,2		
		0,72		
		1		
	DIBULLA	1,75	7,17	EOLICA
		1,76		
		1,2		
		1,26		
		1,2		

Imagen 11. Fuente: Elaboración propia

En el departamento de la Guajira encontramos que en los municipios de Barrancas y Dibulla la energía eólica se adapta de manera óptima, esto se contrasta con los proyectos que ya en este departamento, pero cabe aclarar que en otros municipios se han desarrollado con turbinas eólicas, ya que estudios demostraron que en la guajira es un punto estratégico para el desempeño de las turbinas eólicas, para el municipio de Maicao se encontró que los paneles solares pueden tener una mayor adaptabilidad en esta región.

En la identificación de las zonas más vulnerables se obtuvieron:

Zonas mas vulnerables en materia energetica

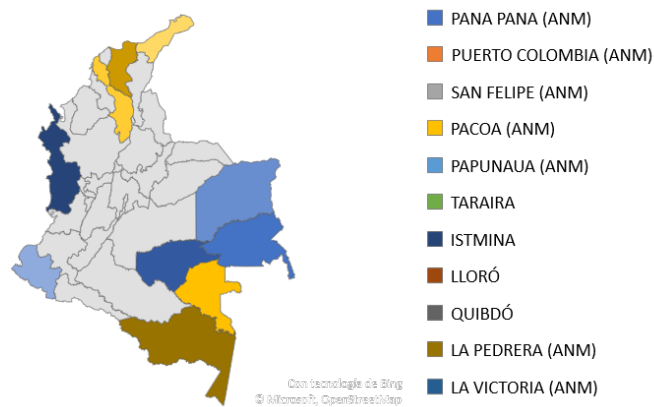


Imagen 12. Fuente: Elaboración propia.

De la evaluación de las tecnologías para los diferentes municipios se obtuvieron unos resultados que permitieron evidenciar cual calificación y cuál solución de energía renovable era la más adecuada de acuerdo con las necesidades, características y recursos disponibles naturales en cada región. De esa manera se obtiene la siguiente tabla:

Municipio	Energía Renovable Recomendable	Calificación
PANA PANA (ANM)	Micro hidroelectricas	8,45
PUERTO COLOMBIA (ANM)	Micro hidroelectricas	8,23
SAN FELIPE (ANM)	Micro hidroelectricas	8,23
PACOA (ANM)	Micro hidroelectricas	8,25
PAPUNAUUA (ANM)	Micro hidroelectricas	8,25
TARAIRA	Micro hidroelectricas	8,25
ISTMINA	Fotosintesis	7,21
LLORÓ	Fotosintesis	7,21
QUIBDÓ	Fotosintesis	7,21
LA PEDRERA (ANM)	Micro hidroelectricas	8,03
LA VICTORIA (ANM)	Micro hidroelectricas	8,03
MIRITI - PARANÁ (ANM)	Micro hidroelectricas	8,03
CUMARIBO	Paneles Solares	8,33
LA PRIMAVERA	Paneles Solares	8,33
PUERTO CARREÑO	Paneles Solares	8,33
CLEMENCIA	Paneles Solares	8,33
SAN JACINTO	Eolica	8,03
SANTA ROSA	Paneles Solares	8,15
CALAMAR	Paneles Solares	7,75
EL RETORNO	Paneles Solares	7,65
MIRAFLORES	Micro hidroelectricas	8,87
NUEVA GRANADA	Eolica	7,22
ZAPAYAN	Eolica	7,4
PUEBLO VIEJO	Micro hidroelectricas	8,64
LA TOLA	Micro hidroelectricas	8,24
MOSQUERA	Micro hidroelectricas	8,87
MAGÜI	Fotosintesis	6,91
MAICAO	Paneles Solares	7,48
BARRANCAS	Eolica	7,42
DIBULLA	Eolica	7,84

Estos resultados se pueden traducir en la siguiente imagen:

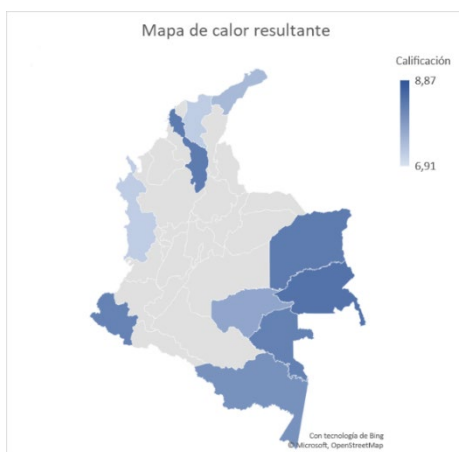


Imagen 13. Fuente: elaboración propia

7. Conclusiones

El gobierno colombiano ha reconocido la importancia de las energías renovables y ha lanzado varias iniciativas para aumentar su adopción. en zonas remotas del país. Una de esas iniciativas es el Plan Nacional de Energías Renovables, que tiene como objetivo aumentar la participación de las energías renovables en la transición energética del país al 30 % para 2030. Adicionalmente el gobierno lanzó el programa "Zonas No Interconectadas", que brinda financiamiento para instalar sistemas de abastecimiento energético a partir de energías renovable en áreas remotas que no están conectadas a la red eléctrica nacional. Las iniciativas del sector privado también están contribuyendo al crecimiento de la energía renovable en Colombia. Por ejemplo, la empresa colombiana Celsia ha desarrollado varios proyectos de energía renovable, incluidos parques eólicos y plantas de energía solar, para brindar energía asequible a comunidades remotas.

Sin embargo, es necesario profundizar en el alcance de dichas soluciones, y de las tecnologías que se dispone de acuerdo a las características de las regiones.

En relación a los resultados obtenidos en la investigación se puede observar que las fuentes de energía renovable más explotadas o utilizadas en el territorio son la energía fotovoltaica y eólica, las cuales siguen representando una solución muy viable en la mayoría de departamentos, sin embargo, al tratarse de las zonas mas vulnerables como lo son las localizadas principalmente en la parte sur-oriental del territorio, presentan algunas limitaciones ligadas principalmente al factor económico y de mantenimiento, las cuales podrían ser sustituidas por las micro hidroeléctricas las cuales presentan una gran cantidad de modelos de éxito alrededor del mundo y en países con condiciones demográficas y de fauna similares a las que se pueden encontrar en el territorio Colombiano, por otro lado, el progreso tecnológico en esta área ha impulsado las inversiones a nivel global, ya que resulta esencial estudiar fuentes de energía como la fotosíntesis, la cual gracias a la gran diversidad y presencia de flora en países del continente americano, en especial de LATAM, puede ser un mecanismo de protección al ecosistema y de igual forma un medio que proporcione energía limpia que se

suministrará de las plantas al desarrollarse aún más esta tecnología.

En conclusión con la investigación realizada en este artículo se estipula un punto de inicio para futuras investigaciones en las cuales se puede abarcar específicamente una región , un departamento o un municipio en el cual se desee estudiar Con mayor profundidad las características demográficas, topográficas o climatológicas considerando la sugerencia planteadas en el presente artículo, de igual forma, las consideraciones que se tuvieron en cuenta al momento de realizar esta investigación se encuentran en un proceso prematuro y que con el pasar del tiempo y la importancia que vaya obteniendo por parte de los diferentes países y gobiernos, permitirá el descubrimiento o la creación de nuevas fuentes de energía que se adapten mejor a las necesidades y condiciones que presenta Colombia y en dónde se garantizará el acceso digno de energía y servicios públicos a las zonas apartadas del territorio e incluso podría ser guía de los diferentes países que cuentan con unas características ecosistémicas similares o iguales a las que presenta el territorio.

Referencias

- [1] “DANE - Inicio”. <https://www.dane.gov.co/> (consultado el 15 de mayo de 2023).
- [2] ONU, “¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas”. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy> (consultado 21-4-2023).
- [3] ONU, “17 objetivos para transformar nuestro mundo | Naciones Unidas”. <https://www.un.org/es/climatechange/17-goals-to-transform-our-world> (consultado el 21 de abril de 2023).
- [4] J. Mauricio y I. Leal, “Uso de energías alternativas a pequeña escala en regiones apartadas, sin servicio de energía eléctrica en Colombia”, 2017.
- [5] R. Saint-Marc, “UTILIZACIÓN DE CULTIVOS ENERGETICOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA. VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA”, Ovieda, 2015.
- [6] A. Vásquez, “El manejo de fuentes renovables de energía para el desarrollo local endógeno y sostenible en la provincia de Manabí”, Unidad de Digitalización UA, 2022.
- [7] L. Gerardo Guerra Sánchez, “PhD Thesis Analysis of Power Distribution Systems Using a Multicore Environment”, 2016.
- [8] I. Salazar-Mejía, “Geografía económica de la región Andina Oriental”, ene. 2010, doi: 10.32468/DTSERU.121.
- [9] G. Narváez-Bravo y gloria Leon-Aristizabal, “CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN ANDINA”, 2001.
- [10] J. P. Rojas Suarez, M. Vergel Ortega, y S. Orjuela Abril, “Study of the application of energy generation systems with mini hydroelectric”, 2021.
- [11] J. Martínez-Hernández et al., “A SWOT Analysis for Wind Energy Potential Assessment in Colombia.”, Fuentes el Reventon Energetico, vol. 20, núm. 1, pp. 45–56, ene. 2022, doi: 10.18273/revfue.v20n1-2022005.
- [12] Á. Pinilla, “Soluciones energéticas para zonas rurales (¿En el posconflicto?)”, Revista de ingeniería, 2016. <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/viewFile/921/1099> (consultado el 29 de marzo de 2023).
- [13] R. Sánchez, D. Dirigida, J. Luque Rodríguez, J. B. Concejero, D. F. Arteaga, y A. Endesa, “El futuro y la demanda energética”, feb. 2020, doi: 10.17616/R31NJNEG.

- [14] R. Parreira, “MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS SOLARES DE CAPTADORES CILINDRO-PARABÓLICOS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”, 2014.
- [15] O. Rutty, P.-A. José, D. Pablo, G. Andrés, E. Marcela, y J. Miguel, “Misión de transformación Energética y Modernización de la Industria Eléctrica: Hoja de Ruta para la Energía del futuro Foco No. 4. Cierre de brechas, mejora de la calidad y diseño y formulación eficiente de subsidios”, 2020.
- [16] L. Güiza-Suárez, J. C. Rodas Monsalve, J. A. Cifuentes-Guerrero, y J. P. González, Energías renovables no convencionales y cambio climático: un análisis para Colombia. [Place of publication not identified]: Editorial Universidad del Rosario, 2019.
- [17] “Zonas no Interconectadas | CREG”. <https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/energia-electrica/zonas-no-interconectadas-0/zonas-no-interconectadas> (consultado el 18 de mayo de 2023).
- [18] “¿Qué son los vientos alisios? - Epicentro Geográfico”. <https://epicentrogeografico.com/2021/01/que-son-los-vientos-alisios/> (consultado el 18 de mayo de 2023).
- [19] “Qué son los vientos alisios: características y curiosidades | Meteorología en Red”. <https://www.meteorologiaenred.com/que-son-los-vientos-alisios.html> (consultado el 18 de mayo de 2023).
- [20] The International Renewable Energy Agency, “Technology- Renewable Generation”, 2022. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology> (consultado el 8 de mayo de 2023).
- [21] N. Oliveira Asistente Editorial Flávia et al., “Energía Solar Fotovoltaica principios fundamentais”, 2022.
- [22] “Radiación UV - Especiales CDC - CDC en Español”. <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radiacionuv/index.html> (consultado el 18 de mayo de 2023).
- [23] J. Manuel, S. Jesús, B. Azucena, J. Carlos NÚÑEZ-AYALA, y F. Libertad, “Generación Eléctrica a Partir de la Fotosíntesis Natural; ¿Una Realidad Escalable? Electricity Generation from Natural Photosynthesis; A Scalable Reality?”, Artículo Revista de Energías Renovables Septiembre, vol. 3, núm. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.35429/JRE.2019.10.3.1.6.
- [24] “¿Qué es el efecto triboeléctrico y cuáles son sus aplicaciones? | I'MNOVATION”. https://www.imnovation-hub.com/es/energia/que-es-efecto-triboelectrico-aplicaciones/?_adin=01833301559 (consultado el 18 de mayo de 2023).
- [25] “¿Qué son los combustibles fósiles? | National Geographic”. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles> (consultado el 19 de mayo de 2023).
- [26] “¿Qué es la huella de carbono y cómo medirla? | National Geographic”. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/que-es-huella-de-carbono-como-se-mide> (consultado el 19 de mayo de 2023).
- [27] “¿Qué es el cambio climático? | Naciones Unidas”. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change> (consultado 19-5-2023).

