

Sistema fotovoltaico como alternativa sostenible para el funcionamiento de una alcaldía municipal

Photovoltaic system as a sustainable alternative for the operation of a municipal mayor's office

Vargas Campo Belissa Janeth¹, López Juvinao Danny Daniel²

¹ Magister en gestión de la tecnología y la innovación, Ingeniera industrial. Universidad de La Guajira. Grupo de investigación Ipaitug. Riohacha, Colombia

² Doctor en Ciencias Gerenciales. Magister gerencia empresarial. Ingeniero en minas. Profesor de planta, Facultad de ingeniería. Universidad de La Guajira. Grupo de investigación Ipaitug. Riohacha, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0002-9304-1105>

Email: dlopezj@uniquajira.edu.co

Recibido: 18/09/2020

Aceptado: 23/10/2020

Cite this article as: B. Vargas, D. López “Sistema fotovoltaico como alternativa sostenible para el funcionamiento de una alcaldía municipal”, Prospectiva, Vol 19, N° 1, 2021.

<http://doi.org/10.15665/rp.v19i1.2530>

RESUMEN

Esta investigación tiene como propósito proponer un sistema fotovoltaico como alternativa sostenible para el mejoramiento de la prestación del servicio de energía eléctrica en la Alcaldía Municipal de Dibulla. Metodológicamente, presenta un enfoque mixto, acude a un diseño de investigación analítica, no experimental transaccional, de campo, de carácter documental, con un tipo de estudio descriptivo y fuentes de información secundarias. Se utilizó una encuesta a 68 sujetos de la dirección y extensión de la alcaldía municipal de Dibulla (La Guajira), utilizando un cuestionario de 26 ítems con opciones de respuestas múltiples, validado por (2) expertos, por Alfa Cronbach reflejó 0.95 de confiabilidad. Las derivaciones encontradas identifican la ineficiencia que presenta el operador de energía en la prestación del servicio, a la vez se presenta un esquema del sistema fotovoltaico conectado a red, con base en el consumo y las características eléctricas del edificio. Concluyendo que el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a la red de la alcaldía municipal de Dibulla originará en este subsistema, una nueva cultura de eficiencia y ahorro energético a través del uso de fuentes renovables que contribuirán a mejorar las condiciones laborales de los funcionarios tanto administrativos como operativos.

Palabras clave: sistema fotovoltaico, sostenibilidad, energías alternativas, tecnologías limpias, innovación.

ABSTRACT

The purpose of this research is to propose a photovoltaic system as a sustainable alternative for the improvement of the provision of electric energy service in the Municipal Municipality of Dibulla. Methodologically, it presents a mixed approach, using an analytical, non-experimental transactional, field, documentary research design, with a descriptive study type and secondary information sources. A survey of 68 subjects from the address and extension of the Dibulla municipal government (La Guajira) was used, using a 26-item questionnaire with multiple response options, validated by (2) experts, by Alfa Cronbach reflected 0.95 of reliability. The derivations found identify the inefficiency that the energy operator presents in the provision of the service, at the same time a diagram of the Grid-Connected Photovoltaic system is presented, based on the consumption and electrical characteristics of the building. Concluding that the design of the photovoltaic system interconnected to the Dibulla municipal mayor's network will originate in this subsystem, a new culture of efficiency and energy saving through the use of renewable sources that will contribute to improving the working conditions of both administrative and operational.

Key words: photovoltaic system, sustainability, alternative energies, clean technologies, innovation, Dibulla - La Guajira.

1. INTRODUCCIÓN

El incesante desarrollo de los mercados y la creciente competencia de las organizaciones, hacen que estas busquen instituir mejores relaciones económicas y sociales con el entorno en donde desarrollan sus acciones, buscando con ello generar beneficios no solo para sí, sino para el entorno geográfico donde se desempeñan, el integrar las energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional está promovido entre otros elementos por su contribución al progreso de procedimientos sostenibles y a la seguridad del abastecimiento y diversificación de las fuentes primaria de energía [1], [2]. Para nuestro caso los sistemas fotovoltaicos, se constituyen con una alternativa atrayente para aprovechar los recursos renovables, y así reducir los efectos adversos en el medio ambiente producidos por los sistemas de potencia convencional.

Actualmente, el país examina suplir la demanda energética de manera eficiente en todo el territorio, al poseer fuentes de energía que remplazan el uso de recursos naturales, como: carbón, petróleo y agua (hidráulica); siendo la energía solar fotovoltaica una atractiva solución a este escenario, por su fácil instalación y operación [3], [4]. Bajo esta concepción, en Colombia se sancionó un marco legal para promover las energías renovables por medio de la ley 1715 del 2014, “Que regula la integración de las energías no convencionales al sistema energético nacional”[5], implanta la posibilidad generar energía e introducirla a la red, representando ahorros o eventualmente ingresos al usuario; manejando esquemas de crédito para sistemas de autogeneración, lo cual hace económicamente más atractiva esta inversión, así como mecanismos de financiamiento, divulgación e incentivos fiscales.

Adicionalmente, en el último año, el gobierno ha instituido una serie de pliegos del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) que se constituyen en la ruta de navegación de estrategias nacionales [6], [7]; entre ellos, las relevantes para este trabajo como son los documentos CONPES 3934 sobre crecimiento verde, 3918 implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y 3919 edificaciones sostenibles. Estos Conpes esbozan metas asociadas y movilización de recursos al año 2030, para incrementar inversión en infraestructura, cooperación internacional, investigación y tecnología relativas y energía limpia, incluidas las fuentes renovables; en cuanto a edificaciones, han promovido medidas de incremento en generación energética limpia según orientó la Ley 1715 de 2014, descubriendo que el potencial de ahorro en el uso de energías alternativas en sedes de entidades del Gobierno es del 2.7%.

Tradicionalmente, la generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos, ha estado dirigida al sector rural, donde los altos costos de generación originados principalmente por el alto

costos de los combustibles, de operación y mantenimiento en zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica y viable en el largo plazo [8]. Actualmente los sistemas fotovoltaicos se vienen implementando en centros urbanos debido a los altos costos de la energía eléctrica tradicional y las irregularidades del servicio, adicionalmente los beneficios ecológicos que esta energía limpia ofrece.

De esta manera, las energías renovables están surgiendo como una buena solución principalmente para que en Colombia se reduzca los altos costos energéticos. Colombia cuenta con importantes recursos renovables (solar y eólico) y la zona de La Guajira, en particular, es uno de los mejores sitios [9]. La Guajira ha sido objeto de numerosos estudios sobre la producción de energía eólica y solar [4], [10]–[14], que reportan buenos niveles de radiación solar que podrían aprovecharse para electrificar poblaciones locales aisladas y para implementar proyectos a gran escala para inyectar energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional.

En el presente estudio, se promueve el uso de energía solar fotovoltaica en la alcaldía de Dibulla, La Guajira, la cual debe prestar servicios propios de la entidad a la población y a causa de las fluctuaciones en el servicio de energía, así como el aumento y disminución repentina de los voltajes, deterioran los equipos e impide el desarrollo de las actividades diarias. Por ello, se propone un sistema fotovoltaico como alternativa sostenible para el mejoramiento de la prestación del servicio de energía eléctrica, mediante la evaluación del comportamiento del servicio de energía eléctrica, la caracterización de los beneficios que genera la implementación de los sistemas fotovoltaicos, la realización de un análisis técnico sobre la implementación de un Sistema fotovoltaico en la alcaldía municipal que se adapte a las condiciones climáticas de la zona, así como el diseño y costos económicos del sistema solar fotovoltaico, con base en el consumo y en las características eléctricas de la alcaldía municipal de Dibulla.

2. TEORÍA

Los combustibles fósiles han sido importantes para suplir la mayoría de las necesidades energéticas, que a través del tiempo han aumentado por el nivel de consumo en todo el mundo. En respuesta a las crecientes necesidades de energía, también se espera que el nivel de consumo global de energía alternativa aumente en el futuro debido a los avances en la tecnología, los incentivos asociados y el agotamiento de las reservas de combustibles. Desde la última década, la energía renovable ha sido considerada como una alternativa energética viable a nivel mundial debido a múltiples factores como la creciente preocupación internacional por el cambio climático, problemas sobre la seguridad energética, agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, innovaciones tecnológicas y creciente volatilidad en los precios del combustible [15].

De este modo, dentro de la búsqueda de energías alternativas que también se denominan renovables por su naturaleza de autoabastecimiento (solar, eólica, undimotriz, la biomasa, la mareomotriz, etc.), la energía solar en forma de tecnologías solares fotovoltaicas posee más potencial por su capacidad inherente y versatilidad para ser utilizada, donde las células solares convierten la energía de la luz en la forma más pura de energía, es decir, en electricidad para ser utilizada en cualquier otra forma conocida de energía [16]. Es así como, la energía fotovoltaica solar se define como la conversión directa de la luz en electricidad a través de un proceso llamado "efecto fotovoltaico", que poseen algunos materiales particulares conocidos como célula solar fotovoltaica, estos sistemas fotovoltaicos consisten en la conversión directa en forma de células solares, que convierten los fotones de energía solar radiante en corriente directa (electricidad) sin ninguna pieza móvil de una manera limpia y renovable desde una aplicación de rango reducido para la generación de energía a escala de servicios públicos en un solo lugar, resultando ser una prometedora fuente de energía renovable, asequible, casi infinita y respetuosa con el medio ambiente [17]–[20].

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño de investigación

La investigación se fundamentó en el paradigma epistemológico post positivista, de tipo adaptativa y carácter mixto, este representa la integración o combinación entre los enfoques cualitativo y cuantitativo, con diseño de campo, no experimental y de corte transeccional proyectiva-aplicada [21]–[23], cuyas fuentes provienen de revisión documental y observación directa (entrevista, cuestionarios, test, encuesta y diagramas psicométricos) [24]. El presente estudio no se trabajó con muestras, sino con la población total, cuya población fue de carácter finita correspondiente a la alcaldía del municipio de Dibulla, La Guajira. Donde, la población estuvo conformada por 68 sujetos que participan en las operaciones de la alcaldía municipal de Dibulla los cuales proporcionaron la información en cuanto a opiniones, actitudes o sugerencias sobre fuentes de energía continúa para dispositivos electrónicos portables, en vista que la población es pequeña, no se estableció el cálculo muestral, sino que se estudió en su totalidad, a través de muestreo censal [21], [22].

Tabla 1. Número de empleados por dependencia de Alcaldía municipal de Dibulla, La Guajira.

Table 1. Number of employees by department of the Dibulla municipal mayor's office, La Guajira.

Dependencia	Descripción	Ubicación	Cantidad
Despacho	Secretaria del alcalde	Tercer piso	1
Oficina comisaria de Familia	Donde se atienden los diferentes casos familiares	Primer piso	3
Almacén e inventarios	Registro de los bienes inmuebles del Municipio	Primer piso	1
Contabilidad	Apoyo en la contabilidad del municipio	Tercer piso	4
Control interno	Control y seguimiento de procesos interno y externos	Primer piso	1
Deporte, recreación	Actividades recreativas	Primer piso	4
Gestión documental	Apoyo archivístico	Segundo piso	1
Ordenamiento territorial y control urbano	Todo lo relacionado con los predios del Municipio	Segundo piso	1
Planificación Socioeconómica	Banco de proyectos del Municipio	Segundo piso	3
Presupuesto	Ejecución presupuestal del Municipio	Tercer piso	2
Seguridad y convivencia ciudadana	Ejercer control sobre la comunidad	Primer piso	2
Talento humano	Seguimientos empleados	Primer piso	3
Tránsito y movilidad	Control transito	Tercer piso	1
Jurídica	Procesos contractuales	Tercer piso	7
Programas sociales Espaciales	población vulnerable	Primer piso	3
SISBEN	Registro población para programas sociales	Segundo piso	2
Secretaria de desarrollo económico y competitividad	Gestiones ambientales y proyectos productivos	Segundo piso	5
Secretaria de educación	Gestiones educativas	Tercer piso	3

Secretaria de gobierno y desarrollo social	Gestiones de seguridad y población vulnerable	Primer piso	12
Secretaria de hacienda y finanzas	Gestiones financieras	Tercer piso	3
Secretaria de planeación	Gestiones de proyectos de Infraestructura	Segundo piso	4
Secretaria de salud y seguridad social	Gestiones en todo lo que abarca la Salud	Tercer piso	6
Secretaria de turismo	Gestionar proyectos turísticos	Tercer piso	2
Secretaria general	Apoyo en el manejo de la caja menor	Tercer piso	4
Total			68

Fuente: Elaboración Propia

La técnica de recolección utilizada en esta investigación fue de preguntas cerradas dicotómicas, del tipo muestreo no probabilístico [21], [22], comprendiendo 26 preguntas cuyas alternativas de respuestas son diversas, esta técnica permite el conocimiento que los empleados de la Alcaldía poseen acerca de la energía solar fotovoltaica, actitudes y opiniones de los individuos con relación a los 15 indicadores mencionados en el sistema de variables.

En cuanto, a la Validez y confiabilidad de los instrumentos utilizados para la investigación evaluaron la pertinencia en relación con su alcance, contenido, efectividad, coherencia, redacción, entre otros y se validó por medio del criterio de consulta técnica a expertos en las áreas de metodología de la investigación, en tecnología e innovación y energías alternativas y la confiabilidad por Alfa Cronbach que reflejó 0.95 de confiabilidad lo que indica que es un instrumento de calidad, dándole acreditación para obtener la información acertada que realmente mide las variables y sus indicadores [21], [22].

3.2. Diseño del sistema solar fotovoltaico

A partir de la incidencia de radiación solar en la alcaldía municipal de Dibulla, se realizaron una serie de cálculos para obtener el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, utilizando el método amperios-hora [25], [26]. Para calcular el consumo en el dimensionado, se asumió una carga total de 220.130 *W/día*.

La ecuación 1 muestra cómo obtener el consumo de energía (*Ah/día*) es la siguiente[25], [26]:

$$I_{DC} = \frac{P_{AC}}{V_{DC} \times \eta} \quad (1)$$

Donde, P_{AC} es 220.130 *W* generados por el sistema para abastecer el consumo diario, V_{DC} es el voltaje de diseño del sistema, el cual está relacionado con la potencia que se necesita para alimentar la carga, se toma el valor de 24V, debido a la longitud de cableado y la constante η es el rendimiento del inversor.

Para calcular la intensidad de corriente se aplica la ecuación 2, la cual determina el régimen de corriente que deben soportar algunos elementos del sistema fotovoltaico.

$$I_p = \frac{W_{AC} + W_{DC}}{V_{DC}} \quad (2)$$

Donde, I_p es la intensidad de la corriente, W_{AC} es la potencia a la que opera el inversor del sistema, W_{DC} es la potencia que entra al inversor y V_{DC} es el voltaje al que opera el sistema [25], [26].

Para la corrección del consumo se tiene en cuenta un factor de rendimiento del cableado del sistema, este valor se toma como 99% y se toma el factor de rendimiento de la batería de 95%, así como se plantea en la ecuación 3 [25], [26].

$$I = \frac{I_{DC}}{0.98 \times 0.95} \quad (3)$$

Para dimensionar la batería del sistema fotovoltaico se calcula la capacidad de esta, mediante la ecuación 4 [25], [26].

$$I_B = \frac{I \times \text{Numero de dias de autonomía}}{Mpd} \quad (4)$$

Donde I_B es la capacidad de la batería, el número de días de autonomía hace referencia a los días en que el sistema fotovoltaico trabajaría sin exposición al sol y Mpd es el límite de energía que soporta la batería [26]. Con el factor de corrección de temperatura la ecuación de la capacidad de la batería se presenta en la ecuación 5.

$$I_B = \frac{I \times \text{Numero de dias de autonomía}}{Mpd \times \text{correccion por temperatura}} \quad (5)$$

Para obtener el número de baterías conectadas en serie en el sistema cociente entre el voltaje nominal de las cargas del consumo y el voltaje nominal de la batería V_B , tal como se expresa con la ecuación 6 [25], [26].

$$\text{Baterías en serie} = \frac{V_{DC}}{V_B} \quad (6)$$

El número de baterías conectadas en paralelo se calcula a través del cociente entre la capacidad necesaria de batería I_B y la capacidad nominal de una sola batería I_{BS} , tal como se expresa en la ecuación 7 [25], [26].

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{I_B}{I_{BS}} \quad (7)$$

Para el dimensionado del generador fotovoltaico en el sistema se calculó la corriente de diseño del generador fotovoltaico, mediante la ecuación 8 [25], [26].

$$Cd = \frac{I}{HSP} \quad (8)$$

Donde, Cd es la corriente de diseño, I es el consumo corregido en amperios-hora y HSP es el número de horas solares pico. Para obtener la corriente de diseño corregida se tiene en cuenta un factor de corrección del módulo que está en función de la radiación. El Número de módulos en paralelo del banco de prueba fotovoltaico se obtiene con la ecuación 9 [25], [26].

$$M_{paralelo} = \frac{I_{DC}^*}{I_n} \quad (9)$$

Donde, I_{DC}^* es el valor de la intensidad de diseño corregida y I_n es la intensidad nominal del módulo seleccionado de acuerdo con sus especificaciones.

El número de módulos en serie M_{serie} se obtiene mediante la ecuación 10 [25], [26].

$$M_{serie} = \frac{V_N}{V_{nm}} \quad (10)$$

Donde V_N es el voltaje nominal del sistema y V_{nm} es el voltaje nominal del módulo.

En la selección del regulador de carga se utilizó la ecuación 11, para calcular la corriente en corto circuito del arreglo de un sistema de 24V [25], [26].

$$I_{CCarreglo} = 1.25 \times I_{CCmódulo} \times M_{paralelo} \quad (11)$$

Donde, 1.25 es el factor de seguridad respecto a la corriente de cortocircuito del generador y $I_{CCmódulo}$ es la corriente de corto circuito del módulo.

En el cableado del sistema para dimensionar un conductor se consideraron dos variables, la caída de tensión máxima y la corriente máxima. La ecuación 12 se utilizó para calcular la sección transversal de un conductor [25], [26].

$$S_{min} = \frac{K \times I \times L}{\delta \times \Delta U} \quad (10)$$

Donde, I es la intensidad en el tramo a considerar en amperios, L es la longitud del cable en metros, δ es la conductividad del cable, K es un coeficiente que depende del tipo de alimentación y ΔU es la caída de tensión máxima admitida o pérdida en el tramo.

Para determinar el dimensionamiento del inversor, hay que tener en cuenta que la potencia de este dispositivo está asociado al suministro de la potencia de las cargas DC y por los picos de demanda, debido a que algunas cargas conectadas al sistema fotovoltaico poseen bobinas o inductancias (motores, compresores) que durante un corto periodo de tiempo de arranque aumentan la corriente demandada entre 4 a 6 veces la corriente de operación. Las características de funcionamiento que definen un inversor o convertidor DC/AC son: Potencia Nominal (kW), Tensión Nominal de Entrada (V), Tensión Nominal de Salida (V), Rendimiento (%) y Frecuencia de operación (Hz) [25], [26].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comportamiento del servicio de energía eléctrica en la alcaldía municipal de Dibulla-La Guajira.

Se evaluó mediante un cuestionario la calidad del servicio, satisfacción del cliente, eficiencia energética y la proyección de una planta física en la alcaldía municipal de Dibulla - La Guajira, logrando igualar razonamientos relevantes como: calificación y grado de satisfacción del servicio de energía, conocimiento, beneficios e impactos que establecen la implementación de energías renovables.

4.1.1. Calidad del servicio

Se encontró que deben incorporarse factores de calidad y tener una interacción entre la organización prestadora del servicio de energía y sus usuarios, especialmente aquellos relacionados con la facturación, la atención de requerimientos, la atención de quejas, las notificaciones y los pagos, con el fin de conocer las condiciones reales de continuidad del servicio recibido por los usuarios y verificar el cumplimiento regulatorio.

4.1.2. Eficiencia energética

A través de la encuesta, se obtuvo que el 74% de los encuestados, revela que el servicio de energía eléctrica en el último año ha sido malo y un 26% indica que el servicio es regular. En este sentido [27], [28], consideran que la percepción de los clientes y usuarios se basan en la impresión total del consumidor acerca de la inferioridad o superioridad relativa de una organización y sus servicios, esta impresión es influida por muchos factores tales como el desempeño de los empleados, instalaciones, precios y calidad del servicio ofrecido entre otros aspectos. Así mismo, [29], [30], expresan que quienes afirman que a pesar de que los servicios son de naturaleza intangible, si se desea brindar al cliente una experiencia satisfactoria que garantice su lealtad, es importante considerar los factores que este percibe como evidencia física del servicio que recibe.

Por otro lado, se indago con los encuestados sobre el uso de energía solar fotovoltaica, donde el 49% opina que es una alternativa a las energías convencionales, el 50% que es ecológica y un 1% opina que es un costo alto por su inversión inicial, tal vez por desconocimiento en la recuperación de esa inversión, cabe destacar

que se hace económica por el tiempo de duración de esta (aproximadamente 25 años) y por las continuas exenciones en impuestos por parte del gobierno a proyectos de esta clase. Esta situación, se apoya en los estudios realizados por [31]–[35], quienes sugieren diseñar e implementar políticas de eficiencia energética, para comunidades y empresas con problemas de fluido eléctrico e indagar sobre el uso que le dan, por la influencia significativa que tienen en la sostenibilidad de los proyectos. También, se plantea la creación de comités que tengan una visión compartida y metas concretas para la formulación de proyectos, además del rol que los medios de comunicación deben tener en la percepción pública de los riesgos que involucran dichos proyectos, especialmente los relacionados con eficiencia energética [36].

Cabe resaltar, que la obtención el recurso energético a partir de una fuente gratuita y aprovechable como lo es la energía solar, garantiza confiabilidad en el suministro de energía, para la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) [37], el establecer mayor seguridad en las actividades y procesos de las empresas, generaran beneficios a nivel financiero, por la estabilidad en los costos de suministro ya que la demanda del servicio de conexión disminuiría al producir gran parte de la electricidad necesaria; a partir de esto, una vez haya transcurrido el periodo de recuperación de la inversión inicial los costos de suministro se reducirían y se alcanzaría los objetivos anhelados.

4.1.3. Proyección de planta física de un sistema fotovoltaico

En cuanto, a la proyección de planta física de un sistema fotovoltaico en la alcaldía municipal de Dibulla, el 97% de los encuestados indican que en la alcaldía de Dibulla se cuenta con las especificaciones técnicas para la instalación de paneles solares y un 3% contestó que no, tal vez por el desconocimiento sobre la eficiencia en cuanto al espacio de uso de estos paneles. En contraste, [38], [39], sustentan que los edificios de entidades públicas presentan una serie de rasgos diferenciales y peculiaridades que son precisos identificar para poder interpretar la actividad innovadora que se desarrolla en proyectos de energías alternativas.

4.2. Beneficios de la implementación de sistemas fotovoltaicos en la alcaldía municipal de Dibulla-La Guajira.

Para evaluar los beneficios de implementar sistemas fotovoltaicos en la alcaldía, se efectuaron encuestas como instrumento para la recolección de información, la cual estuvo orientadas a evaluar ámbitos sociales, económicos y ambientales en la alcaldía municipal de Dibulla. A continuación, se reportan los hallazgos encontrados:

Para el ámbito social, se encontró que un 58% de los encuestados indica que el principal beneficio que se obtendría es la continuidad en el servicio y de buena calidad, el 21% respondió que era un ahorro para la Alcaldía Municipal de Dibulla, el 13% que mejora la salud y la calidad de vida de los empleados y habitantes de Dibulla, y un 8% hablo de cuidar el medio ambiente. En este sentido, [40], [41] argumentan en su investigación, que el principal beneficio que producen las energías renovables frente a las energías tradicionales es que disminuyen la dependencia de estas, las van sustituyendo de forma progresiva y contribuyen a mantener la calidad de vida de las personas actuales, garantizando un ambiente ecológicamente más equilibrado, lo que permite preservar el ambiente sano de las generaciones futuras y contribuir a la disminución del calentamiento global. También, indican la importancia de que las instituciones públicas tengan en cuenta los beneficios y garantías que ofrece el gobierno para las que invierten en proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio, documentados en la Ley 1715 de 2014.

En el ámbito económico, diversos estudios [1], [3], [4], [6], [7], indican que la incidencia que tiene la posición geográfica y astronómica de Colombia juega un papel importante en la disponibilidad de este recurso natural renovable, el país cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo. En el Atlas de Radiación Solar de Colombia [42], se muestra el rango anual de disponibilidad de energía solar por regiones (ver Tabla 2).

Tabla 2. Potencial de la energía solar en regiones de Colombia.**Table 2.** Potential of solar energy in regions of Colombia.

Región del país	Radiación Solar (kWh/m ² /año)
Guajira	1.980 - 2.340
Costa atlántica	1.260 - 2.340
Orinoquia	1.440 - 2.160
Amazonia	1.440 - 1.800
Andina	1.080 - 1.620
Costa pacífica	1.080 - 1.440

Fuente: Adaptado [42].

Desde el punto de vista ambiental, uno de los factores que pueden perjudicar la rápida inclusión de la energía solar y las energías renovables es la mínima divulgación y las escasas políticas de promoción hacia los potenciales clientes por parte de las entidades gubernamentales encargadas de regular los beneficios de la Ley 1715 de 2014. Por ejemplo, en la alcaldía municipal de Dibulla, solo el 15% de los encuestados conoce la existencia de la Ley 1715 de 2014 y solo el 4% posee conocimientos sobre los beneficios tributarios que esta ofrece y el 81% no tiene conocimiento de esta, ni de sus beneficios tributarios para las empresas. Sin embargo, [1], [9], argumentan que el gobierno está obligado a decretar y divulgar medidas para promover el ahorro en el consumo de energía, su consumo responsable y el uso eficiente de las fuentes energéticas, mediante la CREG, donde la importancia de estas medidas radican en la necesidad de reducir la factura energética, restringir la dependencia energética del exterior, y reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), con el objeto de cumplir los compromisos adquiridos mediante el Protocolo de Kioto.

4.3. Análisis técnico y diseño del sistema fotovoltaico para la alcaldía municipal de Dibulla-La Guajira.

De acuerdo, con los mapas de radiación solar obtenidos por [42] en el año 2005, Colombia posee niveles de insolación que se encuentran entre 3.5 kWh/m² día y 6 kWh/m² día, que revalidan un potencial fotovoltaico positivo para el país. Por su parte, La Guajira es la región que presenta la mayor radiación a nivel nacional con 5.5–6 kWh/m² día tiene un bajo nivel de desarrollo en tecnología solar fotovoltaica, a pesar de su gran extensión en superficie que es de 20.848 km² [1] y en el caso específico de Dibulla, se presenta una radiación solar de 5.19 kWh/m² día [43].

Por otro lado, el beneficio del proyecto está trazado para cubrir alrededor del consumo total de la alcaldía, que según las facturas que emite la empresa prestadora de servicio de energía, el consumo periódico oscila entre los 6000 kWh/mes a 7200 kWh/mes y una demanda de potencia de 10 kW, los cuales se deben tener en cuenta para el diseño del sistema solar fotovoltaico. Además, la alcaldía cuenta con un área de 540 m², 3 niveles donde están ubicadas 26 dependencias y cuenta con una cubierta en placa, donde se proyecta la instalación del sistema solar fotovoltaico.

Así mismo, se analizaron los datos de voltaje, temperatura, irradiancia y se realizaron cálculos a partir de [26], [44], y se determinó que para aprovechar la radiación solar de Dibulla (latitud de -2.88° y longitud de -78.98°), es necesario un ángulo de inclinación de 10°. Por otro lado, la cantidad de paneles solares necesarios para la instalación fotovoltaica en la alcaldía se implanta con el aporte individual de cada panel y el consumo de energía diaria que se requiere, para esto se analizó el consumo de los equipos por dependencias y el tiempo de funcionamiento, las horas de sol pico o HPS [horas/día] de irradiancia solar de Dibulla y un factor global de funcionamiento de 0.90. Para el cálculo, el valor de consumo señalado se

designó un 20% como margen de seguridad para tener en cuenta las mermas que se pueden originar por los dispositivos del sistema fotovoltaico a implementar de igual forma se debe tener en cuenta que en las instalaciones acaecerá perdidas por rendimiento de las baterías de un 95%, del inversor un 90%, y de los conductores o cableado un 99%.

Para el cálculo de paneles solares necesarios para el sistema Solar Fotovoltaico se utilizaron las ecuaciones utilizadas por [25], [26] en su investigación, donde se encontró que para satisfacer la demanda eléctrica de la alcaldía municipal de Dibulla, se requieren 214 paneles policristalino (Largo x Ancho x Grueso / 1965 x 990 x 40 mm) de 310W y 24V, 43 ramales en paralelo, con 5 paneles por ramal. Además, de 4 baterías en paralelo y 3 en serie, para un total de 12 baterías, cuyo valor se adquiere al multiplicar el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo, también se requiere un regulador de carga, que resista una corriente, como mínimo de 475A a su entrada y 275A a su salida a una potencia del inversor de 12.000W. Así mismo, los paneles fotovoltaicos se conectarán entre sí a través de cables A THHN/THWN 12, los cuales son alambres de calibre 12, hechos para soportar el voltaje generado por el sistema fotovoltaico con energía directa, y están hechos para lograr alimentar a los inversores correspondientes. Donde, cada panel fotovoltaico trae un metro de cable fotovoltaico A THHN/THWN 12, para conectarse entre sí y conectarse al inversor.

Cabe resaltar que, para realizar la conexión del sistema fotovoltaico a la red del edificio de la Alcaldía Municipal, se requiere utilizar dos cables que conectan las estructuras con la red que abastece el edificio, a la cual se desea inyectar la energía producida por los paneles solares de forma directa, para esta conexión se requieren dos tipos de cables que permiten ser utilizados en espacio abiertos y permitan de forma óptima la conducción y distribución de energía eléctrica, además de tener una flexibilidad que facilite moverlos y ser acomodarlos de forma maleable y segura. De igual manera, al momento de seleccionar las protecciones necesarias del sistema solar fotovoltaico, se tuvo en cuenta lo establecido por la NTC2050 en la sección 690, la cual enuncia que “La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobre corriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125% de la corriente calculada” [45]. Las protecciones necesarias para los circuitos existentes en el módulo solar fotovoltaico móvil se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Protecciones de circuitos para el módulo solar fotovoltaico.

Table 3. Circuit protections in photovoltaic solar module.

Circuito	Corriente Max (A)	Protecciones (A)
Panel-Regulador	13,65	15 A
Regulador Batería	13,65	15 A
Batería-Inversor	63	70 A
Inversor-Carga	7	15 A

Fuente: Elaboración propia.

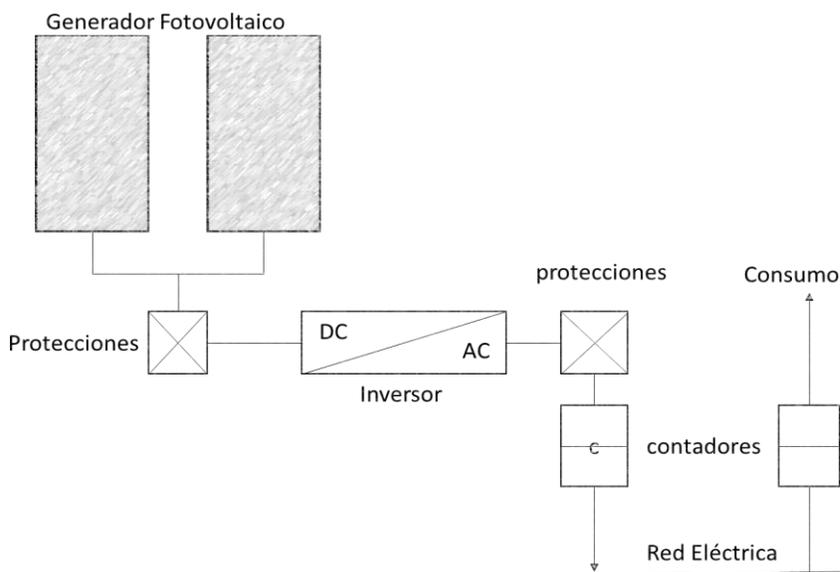
4.4. Sistema fotovoltaico conectado a la red de la alcaldía municipal de Dibulla.

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios se instalan sobre tejados y cubiertas, pero se espera que un creciente número de instalaciones se integren directamente en el cerramiento de los inmuebles, incorporándose a tejas y otros materiales de construcción. Los sistemas fotovoltaicos también pueden reemplazar directamente a los componentes convencionales de las fachadas que son fiables y aportan un diseño moderno e innovador al edificio y, al mismo tiempo, producen electricidad [46]. En la figura 1 por

ejemplo, se observa un sistema fotovoltaico instalado conectado a la red de baja tensión, que no contempla la posibilidad de interconectar con los cuadros de distribución de consumo interno.

Figura 1. Sistema fotovoltaico instalado conectado a la red.

Figure 1. Installed photovoltaic system connected to the grid.



Fuente: Adaptado [47].

4.4.1. Estructura soporte de los módulos

La estructura soporte de los módulos fotovoltaicos será de acero, así como también la de los diferentes elementos auxiliares de sujeción que son precisos disponer. Por su parte, la estructura para el apoyo de los módulos situados en fachada será de acero tipo A-42, situándose diferentes tipos de perfiles en función de los cálculos realizados y detallados en el apartado correspondiente de la memoria del presente proyecto y cuya situación en el edificio queda indicada en el plano de estructura, que pueden ser facilitados por los autores.

4.4.2. Diseño de cubierta solar fotovoltaica

Para el diseño del esquema fotovoltaico, se toman como base las estructuras existentes en la planta física de la alcaldía del municipio de Dibulla, La Guajira, como conexión se obtienen dos opciones de instalaciones la primera en la parte superior o azotea del edificio y la segunda en el estacionamiento de los vehículos, si se aprovechan los paneles como cubierta del estacionamiento se percibirá un esquema conforme a la figura 2, en la cual además de generar sombra, se genera energía eléctrica disminuyendo a 50% de ahorro de energía, con tan solo implementarlos en este edificio. Asimismo, refiere el diseño en la parte superior de la sede de la Alcaldía de Dibulla, bajo estructuras de acero y tubos galvanizados, que contemplan las bases de los paneles, asumiendo la garantía de estos y obteniendo una vida útil de aproximadamente 25 años.

Figura 2. Proyección de paneles solares cubriendo el estacionamiento de la alcaldía municipal de Dibulla.
Figure 2. Projection of solar panels covering the parking lot of the Dibulla municipal mayor's office.



Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Mantenimiento de Instalaciones

Para [48], el mantenimiento de una instalación solar fotovoltaica es escaso, este se reduce prácticamente a la limpieza de los módulos, revisión de las conexiones y de los elementos de seguridad. En algunas situaciones puede necesitarse la desconexión de la red por lo que pueden producirse pequeñas pérdidas. Para garantizar una alta productividad de la instalación, es esencial reducir los periodos de paro del sistema causado por una avería o un mal funcionamiento. Por esta razón es necesaria una buena supervisión del sistema por parte del usuario con una buena asistencia del servicio técnico.

Dentro de las operaciones de mantenimiento del sistema fotovoltaico propuesto en la alcaldía de Dibulla, se propone la limpieza periódica de los módulos una vez al año, estar atento al inversor (Leds, indicadores de estado y alarmas) en diferentes condiciones de irradiación solar, ya que este equipo es uno de los equipos menos fiables del sistema, así como también estar atentos del control de las conexiones eléctricas y del cableado de los módulos, la inspección visual de los módulos para comprobar roturas de vidrio, penetración de humedad en el interior del módulo y fallos de conexionado en el caso de que se produzcan averías. Otras de las cuestiones de fondo será la comprobación de los elementos de protección eléctrica para la seguridad personal y el funcionamiento de la instalación. En general, se revisarán todos los equipos, cableado, conexiones y estructuras soporte, con el fin de prolongar la vida útil, asegurando además el funcionamiento y productividad de la instalación del sistema fotovoltaico propuesto para la alcaldía.

4.5. Costos económicos del sistema solar fotovoltaico

En la Tabla 4 se observa la inversión inicial del sistema solar fotovoltaico de la alcaldía municipal de Dibulla el cual se obtuvo teniendo en cuenta el precio real de cada uno de los componentes del sistema.

Tabla 4. Costos económicos del sistema solar fotovoltaico propuesto en la alcaldía municipal de Dibulla.
Table 4. Economic costs of the proposed solar photovoltaic system in the Dibulla municipal mayor's office.

Componentes	Especificaciones	Cantidad	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)	Referencia
-------------	------------------	----------	----------------------	-------------------	------------

Módulos solares fotovoltaicos	ATERSA 310W Policristalino 24V	214	921.043	197.103.202	¹
Baterías	ROLLS 48V S480 480Ah C100	12	8.413.680	100.964.160	²
Reguladores	MPPT Blue Solar 150V 100A VICTRON	5	2.430.450	12.152.250	
Inversores	15000W INGECON Sun Smart 15 kW	1	20.150.000	20.150.000	³
Cableado	Cable CentelFlex plus 2x8 de 600 KV	1200 m	4.193	5.031.600	
	Cable CentelFlex plus 3x8 AWG 600 KV	1200 m	4.886	5.863.200	
Total				341.264.412	

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

- Al finalizar el estudio, se concluye que la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico asume un alto costo económico (341.264.412 COP), que a largo plazo recuperara la inversión por la disminución en el consumo de energía eléctrica convencional y la mitigación de daños ambientales provocados por el uso de combustibles fósiles. La implementación de este sistema en Dibulla es una alternativa que favorecería a la comunidad, ya que se disminuye la problemática presentada (inoportuna prestación del servicio de energía, constantes apagones, bajos voltajes en las viviendas y la alcaldía) y contribuiría a la implementación de energía amigable y limpia con el medio ambiente.
- Además, se concluyó qué es fácil identificar las tendencias futuras hacia la obtención y uso de sistemas de energías alternativas como la fotovoltaica, en este caso por grandes beneficios que generan al medio ambiente y a la sociedad en general porque pretenden extender la vida de los recursos naturales para próximas generaciones. Asimismo, se concluye que los requerimientos eléctricos de una organización promedio puede ser integrada por los sistemas fotovoltaicos considerados en este estudio, lo cual queda expuesto en el estudio técnico y económico.
- Finalmente, se concluyó que es trascendental destacar que la elección de las celdas o módulos fotovoltaico afectan claramente la generación y reintegro de inversión del proyecto, por ello es importante examinar la tecnología a manejar en determinadas zonas geográfica y el costo de estas, según el requerimiento de potencial a generar, pues logra resultar eficiente pero excesivamente costosa o viceversa. Sin embargo, el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a la red de la alcaldía municipal de Dibulla originará en este subsistema, una nueva cultura de eficiencia y ahorro energético a través del uso de fuentes renovables que contribuirán a mejorar las condiciones laborales de los funcionarios tanto administrativos como operativos.

¹ <https://atersa.com/es/productos-servicios/modulos-fotovoltaicos/>

² <https://autosolar.es/>

³ https://www.centelsa.com/cables_flexibles/cables-centelflex-plus-cu-90c-600v-2/

REFERENCIAS

- [1] D. Rodríguez-Urrego and L. Rodríguez-Urrego, “Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, no. May 2017, pp. 160–170, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.065.
- [2] A. R. López *et al.*, “Solar PV generation in Colombia - A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market,” *Renew. Energy*, vol. 148, pp. 1266–1279, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.066.
- [3] F. León-Vargas, M. García-Jaramillo, and E. Krejci, “Pre-feasibility of wind and solar systems for residential self-sufficiency in four urban locations of Colombia: Implication of new incentives included in Law 1715,” *Renew. Energy*, vol. 130, pp. 1082–1091, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.06.087.
- [4] A. Haghghat Mamaghani, S. A. Avella Escandon, B. Najafi, A. Shirazi, and F. Rinaldi, “Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia,” *Renew. Energy*, vol. 97, pp. 293–305, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2016.05.086.
- [5] Congreso de la republica, “Ley 1715 de 2014.”
- [6] E. E. Gaona, C. L. Trujillo, and J. A. Guacaneme, “Rural microgrids and its potential application in Colombia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 125–137, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.176.
- [7] B. J. Ruiz and V. Rodríguez-Padilla, “Renewable energy sources in the Colombian energy policy, analysis and perspectives,” *Energy Policy*, vol. 34, no. 18, pp. 3684–3690, 2006, doi: 10.1016/j.enpol.2005.08.007.
- [8] Z. Wang, J. Li, J. Liu, and C. Shuai, “Is the photovoltaic poverty alleviation project the best way for the poor to escape poverty? —A DEA and GRA analysis of different projects in rural China,” *Energy Policy*, vol. 137, no. November 2019, p. 111105, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111105.
- [9] A. Vides-Prado *et al.*, “Techno-economic feasibility analysis of photovoltaic systems in remote areas for indigenous communities in the Colombian Guajira,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. May 2017, pp. 4245–4255, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.101.
- [10] L. Rodríguez Urrego, J. Valencia Llanos, D. Rodríguez Urrego, and A. Martínez Garcia, “Design, implementation and operation of a solar hybrid system in a remote area in the Colombian Guajira desert,” *WIT Trans. Ecol. Environ.*, vol. 195, pp. 427–438, 2015, doi: 10.2495/ESUS150361.
- [11] J. C. Beltrán, A. J. Aristizábal, A. López, M. Castaneda, S. Zapata, and Y. Ivanova, “Comparative analysis of deterministic and probabilistic methods for the integration of distributed generation in power systems,” *Energy Reports*, vol. 6, no. September 2019, pp. 88–104, 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2019.10.025.
- [12] L. Lopez *et al.*, “Sizing of renewable energy sources to support resilience in distribution networks,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 155, no. 2018, pp. 535–542, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.074.
- [13] G. Carvajal-Romo, M. Valderrama-Mendoza, D. Rodríguez-Urrego, and L. Rodríguez-Urrego, “Assessment of solar and wind energy potential in La Guajira, Colombia: Current status, and future prospects,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 36, no. August, p. 100531, 2019, doi:

- 10.1016/j.seta.2019.100531.
- [14] M. V. Chamorro, E. V. Ortiz, and L. A. Viana, “Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de La Guajira-Colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica,” *Prospectiva*, vol. 13, no. 2, pp. 54–63, 2015.
- [15] M. Ur Rehman and X. Vinh VO, “Do Alternative Energy Markets Provide Optimal Alternative Investment Opportunities?,” *North Am. J. Econ. Financ.*, p. 101271, 2020, doi: 10.1016/j.najef.2020.101271.
- [16] N. Amin, S. Ahmad Shahahmadi, P. Chelvanathan, K. S. Rahman, M. Istiaque Hossain, and M. D. Akhtaruzzaman, *Solar Photovoltaic Technologies: From Inception Toward the Most Reliable Energy Resource*, vol. 3. Elsevier, 2017.
- [17] L. Hernández-Callejo, S. Gallardo-Saavedra, and V. Alonso-Gómez, “A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance,” *Sol. Energy*, vol. 188, no. June, pp. 426–440, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.06.017.
- [18] O. P. Mahela and A. G. Shaik, “Comprehensive overview of grid interfaced solar photovoltaic systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, no. October 2016, pp. 316–332, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.096.
- [19] N. Vázquez and J. Vázquez, *Photovoltaic System Conversion*, 4th ed. Elsevier Inc., 2018.
- [20] A. A. Bayod-Rújula, *Solar photovoltaics (PV)*. Elsevier Inc., 2019.
- [21] R. Sampieri and C. P. Mendoza, *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw Hill, 2018.
- [22] and M. del P. B. L. R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, *Metodología de la investigación*, 6th ed. México, 2014.
- [23] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 3rd ed. Londres / Nueva Delhi: SAGE Publications Ltd., 2003.
- [24] F. G. Arias, *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*, 6th ed. Caracas - República Bolivariana de Venezuela, 2012.
- [25] M. A. Abella, “Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos,” Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid, España, 2014.
- [26] Y. Salas Reyes, H. I. Gómez Blanco, M. Vanegas Chamorro, G. Valencia Ochoa, and E. Villicaña Ortiz, “Technical and economic design of a photovoltaic solar test bank for power generation off-grid/Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada,” *Prospectiva*, vol. 16, no. 2, pp. 82–88, 2018, doi: 10.15665/rp.v16i2.1653.
- [27] J. M. G. Sánchez and L. C. Manfredi, “EMCEL, how to implement a proper service recovery?,” *Estud. Gerenciales*, vol. 32, no. 140, pp. 290–294, 2016, doi: 10.1016/j.estger.2016.09.001.
- [28] J. C. Bustamante, “Use of mediating and moderating variables in explaining consumer loyalty in service environments,” *Estud. Gerenciales*, vol. 31, no. 136, pp. 299–309, 2015, doi: 10.1016/j.estger.2015.05.002.
- [29] E. F. Subióte, S. Román, and P. J. M. Castejón, “La Influencia De La Consideración Social En La Relación Cliente-Proveedor De Servicios Y El Papel Moderador Del Tipo De Servicio *,” *Rev.*

- Española Investig. Mark. ESIC*, vol. 17, no. 1, pp. 39–59, 2013, doi: 10.1016/s1138-1442(14)60018-8.
- [30] N. Fuentes, G. Osorio, and A. Mungaray, “Capacidades Intangibles Para La Competitividad Microempresarial En México,” *Probl. Desarro.*, vol. 47, no. 186, pp. 83–106, 2016, doi: 10.1016/j.rpd.2016.03.003.
- [31] F. L. Scott, C. R. Jones, and T. L. Webb, “What do people living in deprived communities in the UK think about household energy efficiency interventions?” *Energy Policy*, vol. 66, no. September 2011, pp. 335–349, 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2013.10.084.
- [32] V. K. Eswarlal, G. Vasudevan, P. K. Dey, and P. Vasudevan, “Role of community acceptance in sustainable bioenergy projects in India,” *Energy Policy*, vol. 73, pp. 333–343, 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2014.04.019.
- [33] T. Van Der Schoor and B. Scholtens, “Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 666–675, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.10.089.
- [34] E. Songsore and M. Buzzelli, “Social responses to wind energy development in Ontario: The influence of health risk perceptions and associated concerns,” *Energy Policy*, vol. 69, pp. 285–296, 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.048.
- [35] R. Antunes Campos, L. Rafael do Nascimento, and R. Rüther, “The complementary nature between wind and photovoltaic generation in Brazil and the role of energy storage in utility-scale hybrid power plants,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 221, no. June, p. 113160, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113160.
- [36] V. De Crescenzo, R. Baratta, and F. Simeoni, “Citizens’ engagement in funding renewable and energy efficiency projects: a fuzzy set analysis,” *J. Clean. Prod.*, p. 135577, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124060>.
- [37] UPME, *Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia*. 2015.
- [38] F. Gallouj and J. Sundbo, “Innovation as a loosely coupled system in services Jon Sundbo Faiz Gallouj,” *Int. J. Serv. Technol. Manag. J. Serv. Technol. Manag.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–36, 2000.
- [39] S. L. Vargo, H. Wieland, and M. A. Akaka, “Innovation through institutionalization: A service ecosystems perspective,” *Ind. Mark. Manag.*, vol. 44, no. 2013, pp. 63–72, 2015, doi: 10.1016/j.indmarman.2014.10.008.
- [40] N. Martinez and N. Komendantova, “The effectiveness of the social impact assessment (SIA) in energy transition management: Stakeholders’ insights from renewable energy projects in Mexico,” *Energy Policy*, vol. 145, no. June 2019, p. 111744, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111744.
- [41] M. J. Pereira-Blanco, “Tratamiento Jurídico De Las Energías Renovables En Colombia : Ahorro Energético , Eficiencia,” *Rev. Jurídica MARIO Alario D’Filippo*, vol. IX, no. 17, pp. 43–68, 2016.
- [42] IDEAM, UPME, and Ministerio De Minas y Energia, “Atlas de Radiación Solar de Colombia,” *Ideam*, p. 166, 2005, [Online]. Available: [https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/Atlas de radiación solar Colombia.pdf](https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/Atlas%20de%20radiaci3n%20solar%20Colombia.pdf).
- [43] P. W. Stackhouse and V. U. S. NASA Langley Research Center Hampton, “Surface Meteorology and Solar Energy,” [Online]. Available: <http://eosweb.larc.nasa.gov/> (accessed Dec. 20, 2019).

- [44] M. Arrieta Paternina, L. Olmos Villalba, J. Izquierdo Nuñez, and R. Álvarez López, “Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares,” *Prospectiva*, vol. 10, no. 1, pp. 97–107, 2012, doi: 10.15665/rp.v10i1.401.
- [45] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, “Código eléctrico colombiano NTC2050,” *Código Eléctrico Colomb.*, p. 847, 1998.
- [46] P. Pérez Montoro, “Instalación Fotovoltaica en Nave Industrial Para Autoconsumo Conectada a la Red Eléctrica,” 2013.
- [47] C. J. Díaz Urbina, “Análisis del impacto sobre las protecciones eléctricas al instalar sistemas solares fotovoltaicos en una red de distribución con nivel de tensión 13.2 kV.,” Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [48] D. Deb and N. L. Brahmbhatt, “Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. October 2017, pp. 3306–3313, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.014.