

**Energías renovables fotovoltaicas: una aproximación descriptiva de su estado y su
aplicación en Colombia**

Elaborado por:

Lina María Herrera

Juan Pablo Pesca

David Felipe Cortés J.

Universidad EAN

Especialización en Gerencia de Proyectos

Seminario de Investigación

Bogotá

25/11/2021

Resumen

A partir del análisis y descripción de la problemática ambiental derivada de la generación, transporte y demanda de energía eléctrica en el mundo, se realiza una identificación de los principales métodos de generación de energías renovables y su estado actual de aplicación, tanto en el mundo como en Colombia. Se enumeran las distintas alternativas y se enuncian los beneficios de los sistemas fotovoltaicos como mejor sistema de generación de energía alternativa en países tropicales sobre la línea ecuatorial. Además, con base en encuestas cuantitativas, se realiza evaluación de las condiciones previa utilización de sistemas de generación fotovoltaica y beneficios posteriores a su utilización con la exposición datos de la aplicación, venta, instalación y mantenimiento de estos sistemas no convencionales de generación de energía eléctrica, en domicilios residenciales o comerciales, ubicados en zonas urbanas del país.

Palabras clave: Contaminación ambiental, Generación energética, Sistema fotovoltaico, Energía renovable, Sistemas no convencionales.

Problema de Investigación

Con el incremento constante en la demanda de energía a nivel global, que aumenta a una tasa promedio del 2% anual (FAO, 2008), la expansión de la producción energética se hace una empresa indispensable para cubrir los requerimientos de las poblaciones del mundo. Dicha expansión, cimentada en los modelos tradicionales de producción energética (basados en la combustión de combustibles para la generación energética), que generan una carga ambiental grave teniendo en cuenta que los combustibles para dicha generación se desarrolla con base en fuentes no renovables, especialmente utilizando petróleo, carbón y gas, en la que “tan solo el 13% de la energía mundial proviene de fuentes renovables, y el 10,6% de éstas son fuentes renovables de combustibles y desechos urbanos renovables” (FAO, 2008).

Debido a la utilización de fuentes no renovables de energía, la generación, transporte y demanda energética a nivel mundial generan el 42% de las contribuciones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, siendo el 34% de este, producto de los sectores residenciales y de servicios (Universidad del País Vasco, 2021). Hoy “*cerca de 3000 millones de personas utilizan combustibles contaminantes como leña u otra biomasa para cocinar o calefaccionar sus viviendas, lo que genera contaminación del aire (...) que tiene impactos generalizados en la salud y el medio ambiente*” (Banco Mundial, 2018).

En ese contexto, el panorama de Colombia no es más prometedor. Si bien el 68,33% de la energía que se produce en el país proviene de fuentes hídricas que son una fuente menos contaminante, el 30,7% proviene de fuentes no renovables como lo son el carbón, el gas y el petróleo y tan sólo el 0,98% de la energía proviene de métodos alternativos no convencionales (sin que sean necesariamente limpios en su totalidad) (Arango, 2019). La continuidad en la utilización de fuentes de energía convencionales no renovables para el país es indispensable a mediano plazo ante el lento desarrollo y consolidación de métodos no convencionales basados en fuentes renovables. Lo anterior sin cuantificar, además, el déficit energético general del país

que alcanza alrededor del 32% del territorio nacional, áreas aisladas y alejadas de los ejes de generación, que se encuentran desconectadas del Sistema Interconectado Nacional (SIN) (Rueda & Cárdenas, 2015), lo que ahonda en la utilización de combustibles como biomásas, fósiles y otros no renovables y altamente contaminantes, para mantener estabilidad en el fluido eléctrico en sus entornos.

Si bien la producción energética con métodos convencionales, es la causa de gran parte de la contaminación ambiental en el mundo, como se ha descrito anteriormente; la demanda exponencial de energía (que según las proyecciones se triplicaría para el año 2100 (CEPAL, 2017) y la ineficacia para la consolidación de modelos de producción de energía con modelos no convencionales por la carencia de respaldos gubernamentales para su afianzamiento, prolongan la problemática y aplazan la consolidación de métodos decisivos para la protección del ambiente y el desarrollo sostenible, lo que conduce a una contradicción con respecto a la sustentabilidad global (Saboori, Maimunah, & bin Baba, 2014). Consecuentemente se evidencia cómo, entre 2004 y 2030 en proyecciones relativas de la ONU, de las distintas fuentes de generación de energía, las que más crecerán en porcentaje serán el gas y el carbón, aumentando del 65% al 74%, mientras que las energías renovables pasarán de un 44% a un 61%, estando por debajo de otros métodos de producción que, a la postre, deberían desaparecer para evitar consecuencias ambientales. Es así como también, en dichas proyecciones, el consumo de petróleo aumentará en el mismo periodo de tiempo un 42% (FAO, 2008).

En tal perspectiva, en la que se demuestra la urgencia de la transición de los modelos convencionales de generación energética alrededor del planeta, se evidencian avances lentos y, en este contexto global, *“el país [Colombia] muestra un rezago preocupante en este aspecto”* como lo advierte la Asociación de Energías Renovables de Colombia (SER por sus siglas en inglés) (Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), 2017).

En cuanto a la producción energética a partir de energía solar (FV), que podría ser un modelo de producción energética que atienda las deficiencias de producción, distribución y aprovechamiento de Colombia, respondiendo simultáneamente a los requerimientos ambientales urgentes que se demandan en la producción energética a nivel mundial en los próximos años, el impulso a sistemas de generación alternativos o no convencionales es precario y el aprovechamiento en la generación de energía a partir de sistemas fotovoltaicos es reducido. Entendiendo que Colombia cuenta con una radiación solar promedio de 4,5 kWh/m²/d que supera los 3,9 kWh/m²/d promedio mundial, su aprovechamiento de los sistemas fotovoltaicos para la producción de energía es irrisorio: *“en el 2005 existían aproximadamente 145 sistemas fotovoltaicos [en Colombia], cuya capacidad instalada era de 208,06kW, en el año 2014 se tenía alrededor de 11,6GW y en el 2015 se incrementó un 0,6GW para un total aproximado de 12GW”* (Ramírez, Murcia, & Rojas, 2016), si se tiene presente que sólo para diciembre de 2020 el requerimiento de energía en Colombia fue de 198GWh/día (XM, 2020). *“Con esto se ratifica que la generación de electricidad en el país a partir de fuentes renovables como la solar fotovoltaica es muy baja”* (Ramírez, Murcia, & Rojas, 2016).

En tal panorama, con el incremento constante en la demanda energética mundial; la alta contribución de contaminación que genera la producción y distribución de energía; la demanda creciente de energía eléctrica nacional; las precariedades en cuanto a la interconexión energética y la superior capacidad de captación de la radiación solar de Colombia, el presente documento atenderá la pregunta sobre ***¿cuál es el estado actual y qué consideraciones deberían tenerse en cuenta a la hora de aplicar sistemas de generación de energías renovables a partir de sistemas solares fotovoltaicos para usos domésticos en Colombia?*** como aporte descriptivo de los modelos no convencionales de producción energética y su aprovechamiento como alternativa sostenible, sustentable y rentable para el país.

Objetivos

Objetivo general

Establecer algunas consideraciones para la implementación de sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica renovable de uso doméstico e institucional en Colombia a partir del estado actual en aspectos de tecnologías, costos y beneficios de su uso y aplicación en zonas urbanas.

Objetivos específicos

1. Describir algunas consideraciones de la utilización de sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica, con base en las percepciones de una población de muestra;
2. Mediante la aplicación de un instrumento de recolección de información, identificar las ventajas y desventajas de la aplicación de sistemas fotovoltaicos de generación de energía de uso doméstico e institucional en zonas urbanas;
3. Realizar recomendaciones sobre la utilización de sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica de uso doméstico para zonas urbanas en Colombia.

Justificación

Alineada a lo expuesto en el apartado planteamiento del problema, en el cual se evidenció la necesidad de impulsar las energías renovables para mitigar la huella de carbono ocasionada por el uso de energía proveniente del petróleo, gas natural, carbón y la energía nuclear. La presente investigación se enfoca en generar unos lineamientos para identificar los diferentes sistemas solares fotovoltaicos para uso doméstico y así favorecer en su implementación en los hogares colombianos, teniendo en cuenta que este tipo de energía se produce de forma continua y son inagotables a escala humana.

La implementación de estos sistemas aporta cualidades en la generación eléctrica como beneficios en la reducción de contaminación del medio ambiente, rentabilidad para los usuarios y durabilidad de los equipos aproximadamente por 25 años, lo que genera que su aplicación sea muy rentable en el tiempo. Con base en esto el costo de la instalación se amortiza con la vida útil de los equipos, su mantenimiento es fácil y basta con realizar las revisiones periódicas, generando beneficios de ahorro en el pago de energía eléctrica ya que contaremos con nuestro propio sistema de producción energética (Gomez, 2018). Además, sus posibilidades comerciales son crecientes debido al fomento y promoción de energías no convencionales a nivel global. Por los beneficios que aporta el uso de este tipo de energías, esta línea de investigación ha despertado el interés de varios investigadores quienes han llevado a cabo trabajos como los de Emilio Cerda y Francisco J. André (André & Cerdá, 2012). Lo que da cuenta de que es un tema de interés tanto nacional como internacional y que merece seguir explorándose.

Con base en lo anterior expuesto, esta investigación puede ser base para incentivar su uso e identificar alternativas innovadoras en sistemas de generación de energía renovable y soluciones efectivas en lugares donde los sistemas de energía eléctrica convencionales no

sean fácilmente asequibles, sean ineficientes o costosos, por lo que su aporte conceptual es de importancia general para cualquier persona-usuario de la energía eléctrica.

Marco Teórico

Para analizar el estado del arte de la generación de energía con métodos no convencionales, es preciso otorgar claridades previas para favorecer el entendimiento del lector frente a la temática analizada. Es así como, a manera de generalidad, es preciso entender la importancia que acarrea la energía, conocer los distintos tipos de energía que existen, contextualizar los distintos medios por los cuales se genera energía, cómo se transmite y se usa; antes de analizar los medios no convencionales de producción de energía, ventajas y desventajas, además de su estado actual de aplicación en Colombia.

Energía

El concepto de energía se puede definir de distintas maneras, sin embargo, todas las definiciones se estructuran en torno a la idea de que la energía *“es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo o producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, el concepto de energía se define como la capacidad de hacer funcionar las cosas”* (Fundación Endesa, 2021). Se define, además, según Conde Fuentes, como *“una capacidad para transformar, poner en movimiento, trabajar u obrar”* (Cifuentes, 2018) de un cuerpo, vivo o inerte, que se ve afectado por el aprovechamiento coordinado de la energía.

Tipos de energía

La energía, según sus manifestaciones, adquiere diversas denominaciones según las acciones y/o cambios que pueda provocar. Según lo anterior y las diversas clasificaciones que

se encuentran en la literatura, la energía puede clasificarse, según su tipo, de la siguiente manera:

- Energía eléctrica: Movimiento de electrones a través de conductores
- Energía interna: Se manifiesta a partir de la temperatura. Cuanto más caliente esté un cuerpo, más energía interna tendrá
- Energía térmica: Proveniente de cambios calóricos. Se asocia con la cantidad de energía que se transfiere de un cuerpo caliente a otro más frío manifestándose en calor
- Energía radiante: Generada a partir de ondas electromagnéticas a partir de la oscilación de partículas eléctricas y magnéticas
- Energía química: Proveniente de reacciones de elementos químicos
- Energía nuclear: Se genera al interactuar los átomos entre sí. Puede liberarse a través de su rotura (fisión), o de su unión (fusión)
- Energía solar: Proveniente de la radiación solar
- Energía potencial: Depende de la altura con respecto al suelo en que se ubica el objeto
- Energía cinética: Manifiesta el movimiento de sujetos – objetos y se asocia a su velocidad
- Energía mecánica: Suma de la energía potencial y cinética, se relaciona con la posición y el movimiento de los cuerpos.

Además de lo anterior, la energía también puede clasificarse según sus fuentes de generación de la siguiente manera: energía no renovable y energía renovable. La energía no renovable es aquella que proviene de fuentes agotables: la generada a partir de la combustión de combustibles como el petróleo, el carbón o el gas natural. La energía renovable es aquella que proviene de elementos virtualmente infinitos como la eólica (generada a partir de la acción del viento) o la solar (Cifuentes, 2018).

Producción, transmisión y distribución de energía

La energía eléctrica en nuestras sociedades, debido a la alta y creciente demanda, se genera a partir de grandes infraestructuras que soporten los requerimientos energéticos de las comunidades para las cuales son destinadas. Esta generación se da a partir de energías primarias que dan sustento a las infraestructuras generadoras. Estas energías primarias, según su fuente, pueden ser renovables y no renovables.

Las energías primarias no renovables que se utilizan en la generación de energía son el carbón, el gas natural, el petróleo, la gasolina, etc.; mientras que las energías primarias renovables son aquellas provenientes de biomasa, del viento, las mareas o la radiación solar (Endesa, 2021).

Para la transformación de las energías primarias existen distintos tipos de centrales que, a partir de su transformación, generan la energía eléctrica que usamos en nuestras sociedades. Estas centrales pueden clasificarse, según (Endesa, 2021), en:

- Centrales termoeléctricas de ciclo convencional (Carbón, gasóleo y gas natural): Con la combustión de diversos tipos de combustible, se encargan en generar vapor a partir del incremento de la temperatura de un depósito de agua que genera entonces el movimiento de una turbina. Con la utilización de un alternador, se transforma la energía mecánica del movimiento de la turbina en energía eléctrica.
- Centrales termoeléctricas de ciclo combinado (Carbón, gasóleo y gas natural): Con un funcionamiento similar a las termoeléctricas de ciclo convencional, que utilizan el movimiento de una turbina para la generación de energía eléctrica a partir del vapor generado por el calentamiento de agua; estas centrales cuentan también con turbinas que se mueven a partir de aire adquirido de la atmósfera que se calienta mediante la combustión de combustibles fósiles.

- Centrales nucleares: Al igual que los tipos anteriores de centrales, en éstas se utiliza la fusión o la fisión nuclear en un reactor que calienta grandes cantidades de agua con alta presión. El vapor liberado produce electricidad al pasar por una turbina conectada a un generador.
- Centrales geotérmicas: A partir del aprovechamiento del calor natural del interior de la tierra, se genera vapor del calentamiento de agua a partir de la conducción y canalización de las altas temperaturas internas de la tierra.
- Centrales de biomasa: El calor requerido para el movimiento de las turbinas en este tipo de centrales se genera a partir de la quema de materia orgánica, ya sea vegetal o animal, de residuos industriales, agrícolas o urbanos.
- Centrales hidroeléctricas: A diferencia de los anteriores tipos de centrales generadoras, estas centrales no requieren calor. A partir de la utilización de un salto importante de agua para el movimiento de una turbina hidráulica, se genera electricidad.
- Parques eólicos: En este caso se utiliza la fuerza del viento que generan movimiento de grandes turbinas.
- Centrales solares: Existen dos tipos: las termosolares que utilizan el calor del sol para el calentamiento de agua y utilizar su vapor para generar movimiento a una turbina, y las fotovoltaicas que transforman la energía solar en electricidad a partir de células fotovoltaicas.
- Centrales mareomotrices: A partir de los movimientos de agua producidos por las subidas y bajadas de las mareas, se genera movimiento de turbinas conectadas a generadores eléctricos.
- Centrales undimotrices: Similares a las mareomotrices, estas, a diferencia de la utilización de la subida y bajada de las mareas, utilizan el oleaje para la generación de energía.

Energías renovables

Las energías renovables son aquellas que proceden de fuentes virtualmente inagotables o que aprovechan la energía de otros cuerpos para la generación de movimiento (energía) o electricidad. Estas alternativas se aprovechan del viento, luz, calor solar, saltos de agua, mareas, calor de la tierra, bosques y cultivos varios, entre otros, para la generación y transformación de energía. Su principal característica es que provienen de fuentes que producen constantemente energía y su utilización es ilimitada.

Tipos de energía renovables

Las energías renovables pueden clasificarse en *energías renovables* y en *energías limpias renovables*. En ese sentido, hacen parte del conjunto de las energías renovables la geotérmica, la proveniente de pequeñas centrales hidroeléctricas y de la utilización de biomasa para su generación, estas son amigables con el medio ambiente, aunque pueden generar residuos derivados de su transformación mientras que las denominadas energías limpias renovables se encuentran la solar, la eólica y la mareomotriz “*que provienen de fuentes limpias, renovables, sostenibles y no producen residuos contaminantes en su transformación*” (Velasco Muñoz & Salazar Calvache, 2019).

Del conjunto de las energías limpias renovables, las energías que proceden del sol influyen en las demás fuentes de energías limpias renovables pues son las que producen fenómenos atmosféricos del viento (energía eólica) e influyen en los ciclos del agua (energía hidráulica) y las mareas y las olas en los mares” (Roldán, 2013). En ese sentido, las de tipo solar (calor y luz), son el tipo de energía más eficiente, inagotable y consistente, debido a su invariabilidad, a diferencia de, por ejemplo, la energía eólica o la mareomotriz.

Energías fotovoltaicas

Las energías fotovoltaicas son aquellas provenientes de la utilización de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad a partir del aprovechamiento de la captación y transformación de la energía proveniente de la radiación solar mediante celdas o paneles solares.

Teniendo en cuenta que *“la radiación solar es simplemente la energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (infrarrojas, luz visible, y ultravioletas)”* (Franco, 2014), el aprovechamiento fotovoltaico para la generación de electricidad es uno de los dos métodos más utilizados para la utilización de la energía solar pues *“la energía solar puede transformarse en eléctrica directamente, mediante células fotovoltaicas, o bien de forma indirecta, a través de sistemas térmicos de concentración, utilizados para producir el vapor que moverá las turbinas generadoras”* (José de Juana, 2007), en este sentido, teniendo en cuenta la simpleza del sistema para la generación de energía eléctrica, es el más utilizado en contextos domésticos, comerciales e industriales de escala menor. En contraste, los sistemas térmicos de concentración son utilizados en plantas para la generación de energía eléctrica a gran escala, siendo esta, su principal diferencia.

Paneles o celdas fotovoltaicas

Para la captación y transformación de la energía solar, los sistemas fotovoltaicos hacen uso de las celdas o paneles solares que son estructuras formadas con la finalidad de convertir la energía solar en electricidad. Los primeros hallazgos acerca de la posibilidad de captar la energía solar como fuente para la generación de energía eléctrica se dieron en 1839 con el científico francés Henri Becquerel, cuando descubrió que una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas. Este efecto fue observado

en un principio por material sólido (el metal selenio) en 1877. Sin embargo, una comprensión más profunda de los principios científicos de este tipo de energías fue provista por Albert Einstein en 1905 y Schottky en 1930, su aporte sirvió para que las celdas fotovoltaicas se volvieran un hecho y pudiesen ser confeccionadas con las respectivas mejoras. *“Una célula solar de silicio que convertía el 6% de la luz solar que incidía sobre ella en electricidad fue desarrollada por Chapin, Pearson y Fuller en 1954, y esta es la clase de célula que fue utilizada en usos especializados tales como satélites orbitales a partir de 1958”* (Stefano, 2011). Con el paso del tiempo y la evolución de esta fuente de energía, se ha implementado a las celdas solares el material de silicio, el cual es el elemento electropositivo más abundante de la Tierra.

Tipos de paneles o celdas fotovoltaicas

Para el desarrollo de los paneles solares, se utiliza el silicio para el desarrollo de planchas monocristalinas, su proceso tiende a ser muy costoso: el silicio debe ser de alta pureza y tener una estructura cristalina casi perfecta para su mayor aprovechamiento. Por otro lado, existe la posibilidad de generar planchas policristalinas, donde el silicio es fundido y vertido en un molde para imprimir las celdas como tal, este procedimiento es más económico. También se encuentra el desarrollo de láminas delgadas, elaboradas por el silicio amorfo, que son de bajo costo y se pueden aplicar junto con cristal o plástico, su producción puede ser masiva y puede tener también grandes aplicaciones (Guzmán, 2017).

Dependiendo de los materiales de los que se constituye el panel, tendrá características diferenciadas:

- Silicio Amorfo: Dentro de la escala de las celdas, éstas son las más económicas y son acordes al funcionamiento frente a la temperatura dada, por su composición tienen

- deterioros iniciales, tienen menor garantía que las demás y tendría que hacerse una instalación con varios módulos para alcanzar una potencia instalada asequible.
- Silicio Monocristalino: Tienen un mayor rendimiento al anterior, durante años ha ocupado el primer puesto dentro del mercado de celdas fotovoltaicas, pero tiene un costo más elevado que las demás, adicional al costo; estas celdas necesitan mayor material y su fabricación es compleja.
 - Silicio Policristalino: Su costo de fabricación es menor que la del Monocristalino, se requieren menos materiales y son modulares, el costo se eleva en su instalación.
 - Arseniuro de galio: Mantienen un buen margen ante las altas temperaturas, su adquisición es arriesgada, ya que sus materiales según estudios son tóxicos y de baja disponibilidad en el mercado, además tienen un costo elevado.

Además de estos, existen otro tipo de paneles desarrollados a partir de arseniuro de galio que, por la toxicidad de sus materiales y su baja disponibilidad en el mercado, tienen un costo elevado.

Lo anterior, tomado de (Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2017)

Tipos de Sistemas Fotovoltaicos (SF) para generación de energía

Dependiendo de las características y configuraciones que adopte el Sistema Fotovoltaico que se estructure en determinado predio: interconectado/aislado de la red convencional y si hace uso o no de baterías para almacenamiento de la energía generada, existen los siguientes tipos de Sistemas Fotovoltaicos:

- On-grid: Sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica convencional. Hace uso de inversores on-grid y de un contador bidireccional, que registra excedentes de energía que entrega al operador de la red convencional para compensar el consumo cuando el sistema fotovoltaico no genera suficiente energía.

- Off-grid: Corresponde a un Sistema fotovoltaico donde no hay red eléctrica convencional o el usuario decide desconectarse de la red local. Utiliza inversores off-grid (algunos con controladores solares incluidos) y hace uso de baterías de almacenamiento para utilización de la energía cuando no haya radiación solar.
- Híbrido: Pueden tener controladores solares integrados y baterías para almacenamiento de energía para cuando se presenten cortes. Su instalación se realiza sin importar si existe o no red local de energía convencional. Su utilización se establece a manera de respaldo para evitar desconexión eléctrica.

Usos de energías fotovoltaicas

Esta fuente energética puede beneficiar diferentes aplicaciones mediante la generación total o parcial de la energía eléctrica que requiera la unidad habitacional, según las actividades que en esta se desarrollen. Por ejemplo, dentro del sector residencial, la utilización de sistemas fotovoltaicos para la generación eléctrica puede suplir la iluminación, el uso de electrodomésticos, entre otros, además de generar energía en viviendas aisladas. Con la aplicación en menor escala de estos sistemas pueden suplirse, si bien no en su totalidad, si parcialmente los requerimientos energéticos que los sectores industriales, de telecomunicaciones, agropecuarios y de transporte, demanden, generando así un beneficio para sus usuarios en cuanto a asequibilidad, reducción de costos e impactos al medio ambiente.

Colombia cuenta con un potencial positivo de energía fotovoltaica frente al resto del mundo, ya que en promedio el nivel de irradiación solar es elevado sobre todo en la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central del país, permitiendo la transformación directa de energía eléctrica para regiones aisladas y que anteriormente no contaban con este servicio.

La Ley 1715 de 2014 tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de fuentes renovables, con el fin de incentivar un crecimiento económico sostenible, permitiendo con ello la reducción de emisiones de efecto invernadero y generando nuevas oportunidades para las regiones con abastecimiento energético.

Los interesados en adquirir las celdas fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica, tienen beneficios como la disminución hasta un 50% del impuesto de renta, durante 5 años siguientes al año de realizar la inversión, entre otros (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2016).

Aprovechamiento y utilización de paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica en Colombia

Los inicios de la utilización de las tecnologías fotovoltaicas en Colombia se remontan a la década de los 80 cuando, para la implementación de telecomunicaciones rurales, Telecom con apoyo de la Universidad Nacional, instaló generadores fotovoltaicos de 60Wp (vatio pico) para radioteléfonos en zonas rurales apartadas del país (Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2017).

“Los años ochenta se caracterizaron por ser el boom del mercado de sistemas fotovoltaicos, sin embargo, en los 90 se frenó el desarrollo del mercado por las dificultades de orden público presentadas en esa época; desde los años 80 hasta los 90 se estimaba un desarrollo o crecimiento del mercado fotovoltaico anual, del orden de 300kW” (Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2017).

Para el 2005 en el país se contaba aproximadamente con 145 sistemas fotovoltaicos que agrupaban 208,06kW de capacidad instalada. Para el 2014, la capacidad instalada llegaba a 11,6MW con una tasa de crecimiento anual cercana a los 0,6MW (Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2017).

Según las cifras de la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), para 2018 se registraron proyectos para la generación de 3.000 MW de energía eléctrica con base en fuentes eólicas y solares, entrando en operación la planta solar más grande de Colombia que produciría 9.8MW (Cámara de Comercio de Bogotá, 2021).

Para 2021, las estimaciones del Gobierno Nacional apuntan a cerrar el año con 754MW de capacidad instalada para la producción de energía solar en el país, con una tasa trimestral de crecimiento del 34%, convirtiéndose en el modelo de generación eléctrica de mayor crecimiento en Colombia, aunque con el aporte incipiente aún, de tan sólo el 0.1% de la energía demandada a nivel nacional (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Entorno normativo de las Energías Renovables en Colombia

En Colombia, el sector eléctrico ha generado e implementado mejoras para las condiciones de abastecimiento eléctrico por uno de carácter renovable, por medio del Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (GREG).

En 1990, el Gobierno colombiano creó la Ley 29 y en 1991 el Decreto 393, con el fin de impulsar la investigación del uso racional de energía, por medio de Colciencias. Lo que conllevó a que, en 1992, se publicara el documento *“Políticas en fuentes alternativas de energía, presente y futuro”* para la utilización de estas energías alternativas dentro de la población urbana y rural del país, dando lineamientos para su implementación.

En 1997, se crea el Plan Energético Nacional (PEN) vigente hasta el 2010. Ya para el 2010, con la resolución 18 0919 del MME, *“para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE”*, se propulsa a la utilización de energías renovables.

En 2014, con la Ley 1715 se hace la integración de las energías renovables en el sistema energético nacional (Corredor, 2015).

En Colombia se ha venido pensando en la importancia de aportes para la disminución del impacto ambiental, por lo tanto, la implementación de este tipo de energías trae consigo beneficios tributarios para quien la instala, gracias a las Leyes creadas en los años anteriormente mencionados, se hace un fomento dentro de las universidades para la investigación, para así permitir la producción y utilización de energías no convencionales en el país.

Representando un factor clave a nivel social, generando más empleos directa e indirectamente, mejorando las condiciones de la salud y educación del país, dentro del campo político, este tipo de energías impulsan en la construcción del desarrollo tecnológico, en el ámbito económico, tras tener el petróleo como fuente principal de la economía en el país, puede traer consigo cambios intentando obtener una estabilidad energética sin depender del combustible fósil el cual no tiene mucha garantía en un futuro, por su escasez y sus precios elevados durante los últimos años y así evitando afectar el medio ambiente (Ramírez, Murcia, & Rojas, 2016).

Es importante dar a conocer las afectaciones que genera el efecto invernadero con las energías convencionales, por lo tanto, se debe dar a conocer a la población el uso de energías alternativas, impartiendo un fin interdisciplinario a nivel educativo en el país desde el nivel básico y secundario, con el fin de motivar a los estudiantes desde sus aulas para que en un futuro no muy lejano, se encuentre una solución a las problemáticas ambientales y sociales que presenta el país, comenzando por la instalación de celdas fotovoltaicas en la mayoría del país.

Por parte de COLCIENCIAS Y Cenicafé, se han venido implementando unos avances técnicos de investigación, con el fin de encontrar subproductos para generar energía eléctrica

por medio de energías renovables capaces de regenerarse por medios naturales y por lo tanto se consideran como inagotables (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010).

Ventajas y desventajas de los Sistemas Fotovoltaicos

“Los proyectos de Generación de Energía Solar Fotovoltaica [SF], tienen un trascendental impacto social y ambiental en el mundo y la región donde se desarrolla el proyecto, por cada MW/año producido se deja de emitir 0.7 toneladas de CO₂, aportando a la lucha contra el calentamiento global y el cambio climático.” (Velasco Muñoz & Salazar Calvache, 2019)

Este tipo de tecnologías ha tenido gran acogida en el mercado en los últimos tiempos; ya que genera niveles reducidos de contaminación, con la facilidad de que, al obtenerse de la radiación solar, esta energía puede llegar a lugares donde no hay energía o es imposible la instalación de energías sistemas convencionales de generación eléctrica, permitiendo la conexión eléctrica en territorios aislados.

La implementación de SF para la generación de energía eléctrica, además de proveer energía al domicilio para el cual se implementa, permite entregar los excedentes de la generación diaria de energía (dependiendo del tipo de sistema que se implemente) a la red eléctrica convencional, permitiendo fortalecer la generación en los sistemas convencionales, disminuyendo paralelamente las pérdidas normales de energía derivadas de su transmisión.

En contra posición, las desventaja más recurrente con base en los usuarios consultados, es el precio inicial para su implementación, ya que, comparando sus costos iniciales con los costos promedio de conexión a sistemas convencionales, estos son de mayor rango. Por otro lado, los paneles requieren de mantenimiento permanente para garantizar su eficiencia, requiriendo limpieza tres o cuatro veces al año que, si bien es un mantenimiento sencillo y fácil, los usuarios lo consideran como su mayor desventaja.

Marco institucional

A propósito de la problemática ambiental y comprobando los resultados de los estudios del aire en el país, estudiantes de la Universidad Ean han considerado realizar una investigación óptima acerca de las “Energías renovables para construcciones urbanas: una aproximación descriptiva de su estado actual y su aplicación en Colombia” con el fin de generar unos lineamientos que permitan el desarrollo de estas dentro de las regiones de Colombia, disminuyendo los impactos negativos en el medio ambiente debido a las emisiones excesivas de dióxido de carbono (CO₂), proponiendo entonces la implementación de energías fotovoltaicas a nivel nacional como beneficio tanto económico como social.

Teniendo en cuenta lo anterior y gracias a la resolución número 000114 publicada a finales del 2020 por parte de la Cámara de Comercio; la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), genera dentro de “*La División 27. Fabricación de aparatos y equipo eléctrico*” un apartado para el desarrollo de las energías fotovoltaicas, **2790** denominado como “*Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico n.c.p.*” accediendo así a la innovación de nuevos productos.

Los proyectos inmobiliarios, son de gran interés para el desarrollo de la organización, ya que permiten practicidad y exclusividad personal a futuro, pensando en los costos de los servicios públicos, sin embargo, estos proyectos deberán estar totalmente terminados y han de ser para personas con un alto poder adquisitivo.

Se propone entonces, implementar este mercado en servicios como el sector de la salud, comercio, inmobiliario, alimentación y educación, supliendo la energía para el consumo de estos establecimientos. La electrificación de viviendas, edificaciones privadas y viviendas aisladas que sufren de abastecimiento eléctrico, satisfaciendo el consumo de los habitantes allí presentes. Desde el sector industrial y de telecomunicaciones se proveerá una reducción en el consumo de energía por medio de generación distribuida, de igual forma; la implementación de

celdas fotovoltaicas en el sector agropecuarios, optimizarán los sistemas agroganaderos y de agricultura en diferentes regiones de Colombia (Jhonnatan Gómez, 2017).

Con referencia a lo anterior y para hacer efectivo el desarrollo de energías renovables en el país, la organización deberá realizar una estrategia de mercado a través de campañas en ferias inmobiliarias, flyers en puntos estratégicos, stand en centros comerciales, el uso de marketing y mercadeo para promover la objetividad del proyecto, para finalmente llegar a posibles clientes.

Este proyecto contiene celdas fotovoltaicas formadas por metales a base de silicio puro junto con impurezas de algunos elementos químicos, siendo éste el segundo elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre. Dentro de los cuales se encuentran el silicio mono cristalino, silicio policristalino, silicio amorfo, telurio de cadmio, seleniuro de cobre, indio y galio, sensibles a la luz, las cuales desprenden electrones tras la incidencia de la luz solar sobre ellos, dando así, la generación de energía eléctrica; generando un voltaje entre 0.46 a 0.48 voltios. La diferencia entre estos, parte desde su funcionamiento, la absorción, el costo y su complejidad de fabricación individual (Guzmán, 2017).

Por lo tanto, Colombia por su ubicación en la línea ecuatorial, cuenta con gran potencial para la implementación de energías limpias, dado por sus ecosistemas diversos, a partir del agua, viento, el sol y los residuos de biomasa tales como la caña de azúcar, aceite de palma, arroz y plátano, sin dejar de lado que la emisión de los rayos de luz cae durante todo el año, ya que este país no cuenta con fenómenos naturales (Ulianov, 2011).

Metodología

Primer nivel

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

En esta investigación con alcance exploratorio y en virtud de la revisión documental realizada previamente sobre las características y aplicación de los sistemas solares fotovoltaicos en Colombia, se enfocará en la recolección de datos cuantitativos a partir de la aplicación de encuestas a una muestra representativa a (al menos el 30% de los) usuarios de sistemas fotovoltaicos de la empresa Calom Solar, recogiendo las variaciones que han percibido de la utilización de estos sistemas, para así describir las ventajas y desventajas que conlleva su aplicación en entornos domésticos, comerciales o institucionales, con base en los datos obtenidos de la revisión documental previa; para posteriormente, y a partir de sus resultados, generar algunas consideraciones sobre la utilización de estos sistemas.

En ése sentido, la encuesta se enfocará en comparar datos de consumo y costos, antes de la implementación del sistema fotovoltaico y posterior a su implementación, evidenciar las variaciones percibidas como el porcentaje de cobertura de demanda energética que se suple y la percepción de ventajas y desventajas (con base en aquellas más recurrentes en la literatura consultada).

Al final y, para dar cumplimiento cabal de los objetivos específicos de esta investigación, las recomendaciones exhortarán a adoptar precauciones y listar sugerencias que favorezcan la utilización de sistemas solares fotovoltaicos, evidenciadas sus virtudes y limitaciones como sistema de generación de energía eléctrica.

Definición de Variables

Por su ubicación geográfica, Colombia es considerado uno de los países con mejores condiciones naturales para la implementación de sistemas fotovoltaicos de generación

eléctrica. La mayor parte del territorio nacional *“cuenta con un buen recurso de brillo solar (horas de sol), alrededor de 4, 8 y 12 horas de sol en promedio diario anual, los cuales son valores altos en comparación de países como Alemania el cual cuenta con 3 horas de brillo solar”* (Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2017), permite que, en comparación con el promedio mundial de radiación solar que alcanza 3,9kWh/m²/d de producción energética con SF, Colombia alcanza a producir 4,5kWh/m²/d (F. Eraso Checa and O. Erazo de la Cruz en Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2017).

Dada las potencialidades de producción energética a partir de sistemas solares, la hipótesis de esta investigación conduce a prever que, la implementación de sistemas fotovoltaicos de uso doméstico o comercial / institucional permitiría, en primera medida, la reducción de costos de energía eléctrica en comparación con los costos de los sistemas convencionales de producción eléctrica. Teniendo en cuenta, además, los costos crecientes de materias primas fundamentales como el petróleo o el carbón para la producción convencional de energía eléctrica.

Además de la reducción de costos, la implementación de SF permitiría la independencia energética; favorecería, sin mayores requerimientos técnicos, el acceso a energía eléctrica en zonas aisladas del país; y, aun teniendo en cuenta los materiales con base en los cuales se manufacturan los paneles solares y sus posibles impactos medioambientales, por su producción energética a partir de radiación solar y de manera local, sin transmisión desde zonas apartadas, la generación de energía eléctrica a partir de estos sistemas reduciría los impactos medio ambientales en comparación con los modelos convencionales de producción de energía eléctrica.

Por otro lado, debido al reciente escalamiento y consolidación de los SF para la generación de energía, podría intuirse que, al ser una tecnología novedosa en el país generaría incertidumbre en cuanto al manejo, mantenimiento y perdurabilidad del sistema a través del

tiempo. En ése sentido, se intuye que puede ser este uno de los principales temas de preocupación al momento de implementar este tipo de sistemas.

Con base en lo anterior, a continuación, se describen (Tabla 1) las variables conceptuales y operacionales de la presente investigación.

VARIABLES	
<u>DEPENDIENTE: REDUCCIÓN DE COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA</u>	
DEFINICIÓN CONCEPTUAL	La reducción del costo de energía eléctrica es la capacidad para producir una cantidad específica de energía eléctrica con menor costo económico por unidad de medida.
DEFINICIÓN OPERACIONAL	Para establecer la reducción de costos en la producción de energía resultará de la aplicación de una encuesta cuantitativa que compare los costos de energía previos a la implementación del SF y los costos posteriores. Los datos obtenidos se compararán en pesos colombianos (COP).
<u>DEPENDIENTE: CUBRIMIENTO DE DEMANDA ENERGÉTICA DEL PREDIO</u>	
DEFINICIÓN CONCEPTUAL	Se entiende por demanda eléctrica la cantidad de energía eléctrica que uno o un conjunto de consumidores requieren para abastecer sus necesidades energéticas. En este sentido, el cubrimiento de la demanda de un predio, es la capacidad para suplir la totalidad de sus requerimientos energéticos.
DEFINICIÓN OPERACIONAL	Analizado mediante la aplicación de encuesta cuantitativa. Los datos se analizarán en porcentaje de cubrimiento del cien por ciento (100%) de la demanda energética de cada usuario.
<u>DEPENDIENTE: COSTO DE MANTENIMIENTO EN UN PERIODO DE TIEMPO</u>	
DEFINICIÓN CONCEPTUAL	Por costo de mantenimiento se entiende por la cantidad económica

	que requiere el sistema, sea convencional o fotovoltaico, para garantizar su eficiencia y correcto funcionamiento en un periodo determinado de tiempo.
DEFINICIÓN OPERACIONAL	Con base en la encuesta cuantitativa aplicada, se compararán los gastos en pesos colombianos (COP) que se requerían para garantizar el mantenimiento previa implementación de SF y los gastos posteriores a su implementación, en un periodo promedio de tiempo.
<u>DEPENDIENTE: ANTIGÜEDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL SF PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA</u>	
DEFINICIÓN CONCEPTUAL	Cantidad de tiempo transcurrido desde la implementación del SF como fuente de generación eléctrica en un lugar determinado.
DEFINICIÓN OPERACIONAL	A partir de la aplicación de encuesta cuantitativa, se generará un promedio en años para determinar la antigüedad de la implementación de los SF.
<u>DEPENDIENTE: CUALIDADES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SF EN COMPARACIÓN CON SISTEMAS CONVENCIONALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</u>	
DEFINICIÓN CONCEPTUAL	Rasgo, diferenciado y distintivo de los sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica en comparación con sistemas convencionales.
DEFINICIÓN OPERACIONAL	A partir de la implementación de una pregunta de selección múltiple en la encuesta cuantitativa, se definirán las cualidades positivas y negativas de la implementación de SF con base en la opción más elegida por los encuestados.

Tabla 1. Variables de investigación

Población y Muestra

Para el desarrollo del análisis cuantitativo de esta investigación, se tomarán como base los datos de la empresa Calom Solar que se dedica a la venta, comercialización y mantenimiento de sistemas de energía fotovoltaicos a nivel nacional. Como muestra de estudio, se analizarán los datos de variaciones que puedan haberse dado en los domicilios de treinta (30) clientes de la empresa Calom Solar, representando el 35% del total de sus clientes, con el fin de verificar las ventajas / desventajas que proporcionan los sistemas solares fotovoltaicos.

Segundo nivel

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Para realizar análisis de las variables establecidas y abarcar el porcentaje descrito en población y muestra, se hará uso de una encuesta cuantitativa (**Anexo 1**) para la validación de las variables previstas.

Con la encuesta cuantitativa se buscará determinar para qué tipo de domicilios se implementan, en su mayoría, los sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica. Se procurará establecer el promedio de antigüedad de la implementación de este tipo de sistemas y la cantidad de paneles utilizados.

Posteriormente, con base en una indagación más técnica, se establecerá el promedio de demanda energética, medida en kW/h, para promediar la demanda energética de los predios que hacen uso de los SF. Además, se indagará si con la implementación del SF se cubre la demanda energética del domicilio o si, en su defecto no alcanza a cubrirse la demanda, averiguar el porcentaje promedio de cubrimiento que se logran con la energía generada a partir de los SF. De la misma manera, se promediará la variación del costo energético previo a la implementación de un sistema fotovoltaico y posterior a esta.

Se medirá, además, el promedio anual de los mantenimientos realizados a la red eléctrica conectada al sistema convencional de generación eléctrica y los mantenimientos requeridos anualmente por el sistema fotovoltaico implementado.

Por último, se establecerán con base en las respuestas promedio dadas, las ventajas y desventajas de la implementación de los sistemas fotovoltaicos con base a un listado establecido en la encuesta.

La validación del instrumento se comprobará según el criterio y los comentarios que realicen de la herramienta los miembros de Calom Solar con quienes se ha estructurado la investigación.

Para el análisis de los datos, se utilizará el método estadístico que permite abarcar el análisis final de los datos, dando una descripción resumen y analizando, matemáticamente, los datos recolectados.

Para la cuantificación de los datos obtenidos, se utilizará la estadística descriptiva para describir y responder las preguntas problema que le dieron origen a la encuesta; lo cual permite entender el comportamiento general de los datos recolectados, por medio de gráficos, detectando datos erróneos o inesperados para obtener conclusiones válidas con el fin de:

- Organizar la información
- Sintetizar la información
- Ver sus características más relevantes
- Presentar la información
- Promediar los resultados parciales
- Analizar los datos obtenidos

(Santiago Fernández, 2002)

Técnicas de análisis de datos

La estadística, es la ciencia que da respuesta a diferentes problemáticas por medio de métodos que permiten suministrar datos, por un lado, la *Estadística Descriptiva* elabora diversas técnicas para la presentación y reducción de datos y por otro parte, está la Estadística Inductiva la cual hace estudios por medio de la probabilidad.

Teniendo en cuenta que las variables de la investigación presente son cualitativas; se presentará el estudio por medio de gráficos sectoriales junto con gráficos de barra con el fin de obtener una evidencia, en porcentaje proporcional, a lo observado.

Para llegar a estos resultados, se realizarán encuestas a usuarios de estos sistemas y conversatorios con proveedores de este servicio para corroborar las variables, obteniendo datos que nos permitan transcribir y organizar la información posteriormente obtenida, para así llegar a una conclusión final.

Los resultados de esta investigación podrán ser usados como conocimientos para otras investigaciones, ya que se demostrará que el uso de energías renovables o fotovoltaicas como fuentes de generación eléctrica mejorará la eficiencia energética de cualquier tipo de inmueble, tanto para para empresas o comercios y/o instituciones con demanda media – baja de energía, como para uso personal en viviendas (Montero, 2007).

Además, posteriormente al análisis de las encuestas y evidenciar las variaciones en cuanto al costo energético, haciendo uso de los conocimientos adquiridos en la especialización de Gerencia de Proyectos, se realizará un análisis de las reducciones de costos que representa la utilización de sistemas solares fotovoltaicos para la generación energética en inmuebles. Lo anterior con el fin de evidenciar que, además de los beneficios de acceso y reducción del impacto ambiental, también los beneficios redundan en factores económicos de consideración.

Análisis y discusión de resultados

Para el análisis de los datos obtenidos con la aplicación de las encuestas cuantitativas, se expondrá, con la ayuda de gráficas de barras, cada una de las preguntas realizadas en conjunto con los resultados obtenidos de cada una, subdividiendo la exposición de resultados en subcapítulos que respondan a los objetivos específicos de la investigación. Posteriormente, con base en esta exposición con gráfica de barras, se analizarán los datos en el marco de las variables planteadas para precisar la justeza de la hipótesis y las variables planteadas.

Consideraciones preliminares

Teniendo en cuenta la diversidad de clientes que maneja Calom Solar, se consulta, como primera pregunta, el uso para el cuál se implementa el sistema fotovoltaico en cada predio; de esta manera contextualizar los resultados de las encuestas realizadas, pues, dependiendo el uso más reiterativo para el cuál se implementan los SF entre los usuarios encuestados, nos permitirá realizar un mejor análisis de los resultados.

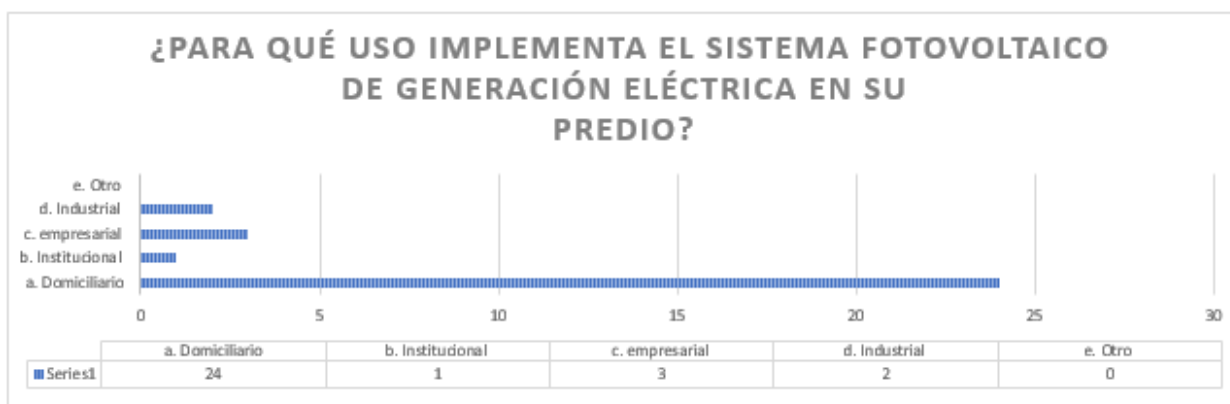


Ilustración 1

De acuerdo con lo anterior, el 80% de los encuestados emplea su sistema fotovoltaico para uso doméstico, mientras el 10% de los usuarios lo emplea para uso empresarial. Solamente el 6,6% lo emplean para uso industrial y, en menor medida con 3,3%, lo emplean para uso institucional.

La implementación mayoritaria de SF para uso domiciliario se debe a las características propias de las viviendas pues, por su escala menor, agrupan una cantidad de usuarios limitada y un consumo más estable en comparación de usos empresariales o industriales, cuya demanda energética, estabilidad del servicio y consumos variables, condicionan en mayor medida su utilización.

Además, el contar con que el 80% de los usuarios encuestados empleen el SF en su domicilio, nos garantiza mayor fiabilidad de los datos acopiados en esta encuesta.

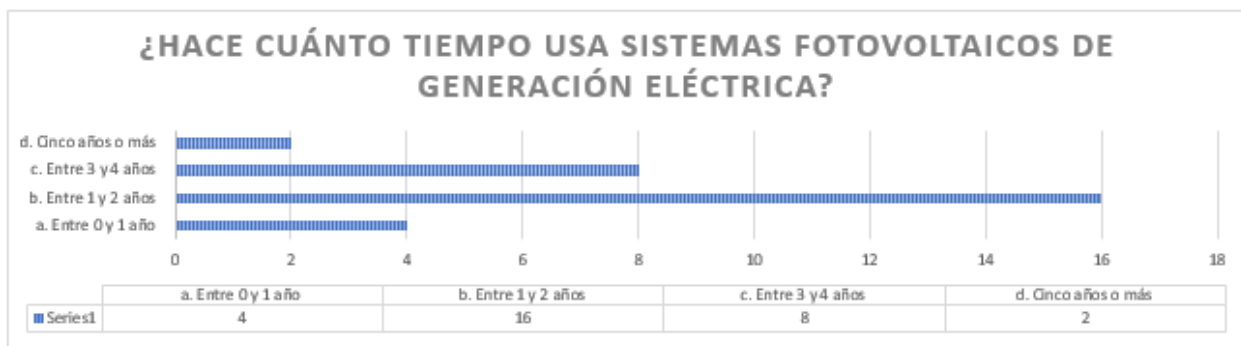


Ilustración 2

Al igual que la pregunta anterior, preguntar sobre el tiempo de instalación promedio de los sistemas fotovoltaicos de los usuarios, nos permite contextualizar el análisis posterior de la encuesta. Al analizar los resultados de esta pregunta, se evidencia que la mayoría de sistemas instalados, el 53,3%, han iniciado a utilizarse tan solo en los últimos dos años, mientras que, el 26,6% de los encuestados ha implementado su sistema fotovoltaico desde hace 3 o 4 años.

Subsecuentemente, el 13,3% entre 0 y 1 años y solo el 6,6% de los usuarios ha implementado el SF hace 5 años o más.

Estos datos demuestran, como viene siendo la tendencia nacional, que los sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica presentan apenas un desarrollo incipiente y su implementación viene creciendo en los últimos años.

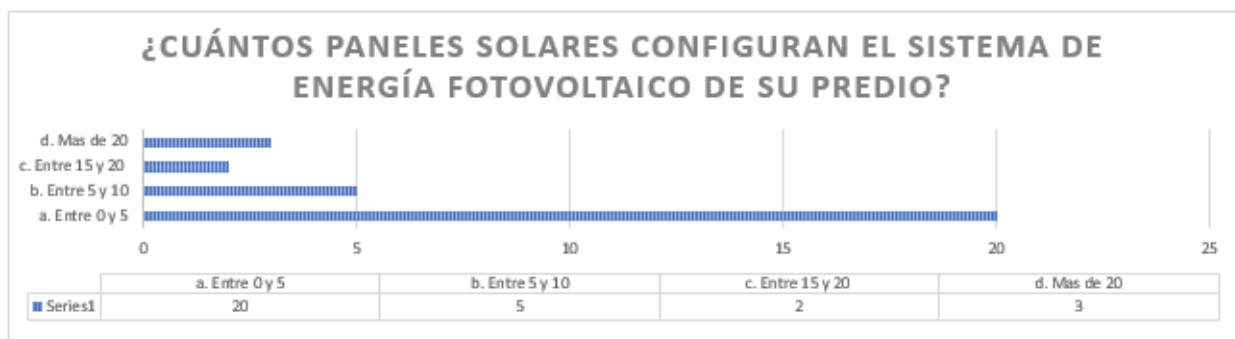


Ilustración 3

Como última pregunta de contextualización, enfocada a posteriori en otorgar base comparativa para la eficiencia de los SF; al indagar sobre la cantidad de paneles solares que componen los sistemas fotovoltaicos de los usuarios encuestados, el 66,6% manifiesta que su sistema lo componen no más de 5 paneles. El 16,6% de los encuestados cuentan con entre 5 y 10 paneles para su sistema, el 6,6% cuenta con entre 15 y 20 paneles, y, sólo el 10% de los encuestados, emplea más de 20 unidades.

Cualidades de los SF (ventajas / desventajas)

a. Si 21
b. No 9

kWh

289 kWh
356 kWh
132 kWh
468 kWh
263 kWh
896 kWh
128 kWh
183 kWh
410 kWh
3200 kWh
620 kWh
480 kWh
164 kWh
156 kWh
216 kWh
189 kWh
173 kWh
321 kWh
283 kWh
197 kWh
234 kWh

Promedio de kWh	446
-----------------	-----



Ilustración 4

Al iniciar la indagación para evaluar la eficiencia de los SF, tomamos como base el consumo eléctrico que demandan cada uno de los predios. Del 100% de los encuestados, el 70% conocía el consumo actual de su predio, donde el menor consumo mensual fue de 128kW/h y el mayor fue de 3200kW/h, con un promedio de 446kW/h siendo un valor relativo al consumo normal de una edificación promedio, lo que se relaciona con la prevalencia del uso domiciliario de quienes emplean los SF.

Posteriormente, al indagar si la generación eléctrica del SF utilizado cubría la demanda energética de su predio, el 70% de los encuestados, 21 de ellos, respondieron que sí cubrían su demanda, mientras que el restante 30% la cubren parcialmente.

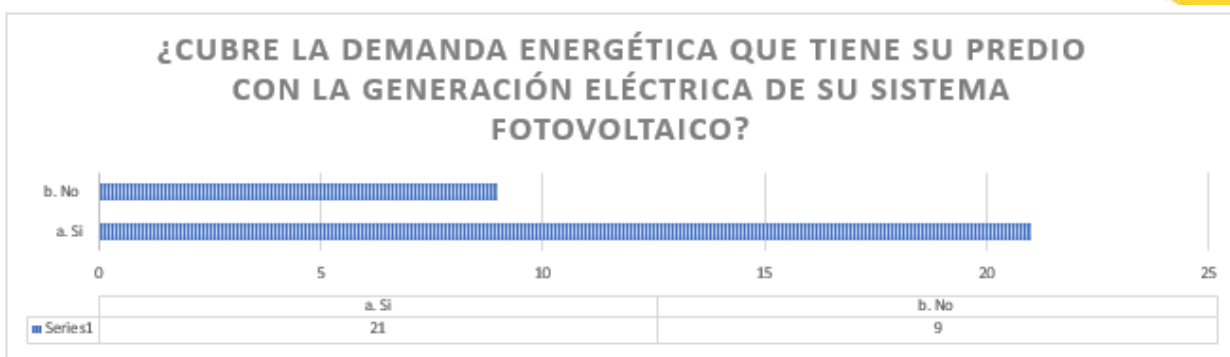


Ilustración 5

Si se comparan estos resultados con la cantidad de usuarios que emplean sus SF para uso domiciliario y la cantidad de ellos que tienen entre 0 y 5 paneles, se evidencia la relación con aquellos usuarios que cubren su demanda energética completamente.

De aquellos usuarios que no logran cubrir su demanda energética que, siendo consecuentes con la relación anterior, se relacionarían con quienes emplean su SF para usos empresariales, institucionales o industriales; entregan los siguientes porcentajes de cubrimiento de su demanda:

1. 80%	80%
2. 90%	90%
3. 85%	85%
4. 75%	75%
5. 80%	80%
6. 35%	35%
7. 30%	30%
8. 45%	45%
9. 42%	42%
Promedio cubrimiento demanda	
62%	

Ilustración 6

El usuario que cubre en menor porcentaje la demanda energética de su predio, lo hace en un 30%; mientras que la mayoría restante, cubre más del 70% de su demanda energética con

sistemas fotovoltaicos. En promedio, aquellos que no logran cubrir totalmente su demanda con SF, lo hacen en un 62%, lo que representa una fracción mayor de sus requerimientos eléctricos que podrían complementarse para incrementar su tasa de autonomía energética. Sin embargo, la tasa de cubrimiento total de la demanda demuestra que los SF pueden garantizar autonomía energética completa para usos domiciliarios y cubrimiento en gran medida de la demanda energética en otros usos.

Cuando se comparan estos datos con las fluctuaciones económicas en cuanto al gasto energético que se consulta en la encuesta, se obtienen los siguientes datos:

a. Si 18
b. No 12

Costo en COP	
\$	293.700
\$	93.200
\$	386.000
\$	156.000
\$	894.300
\$	135.000
\$	1.050.000
\$	180.000
\$	150.000
\$	189.000
\$	175.000
\$	233.000
\$	216.000
\$	190.000
\$	89.000
\$	118.000
\$	146.000
\$	206.000

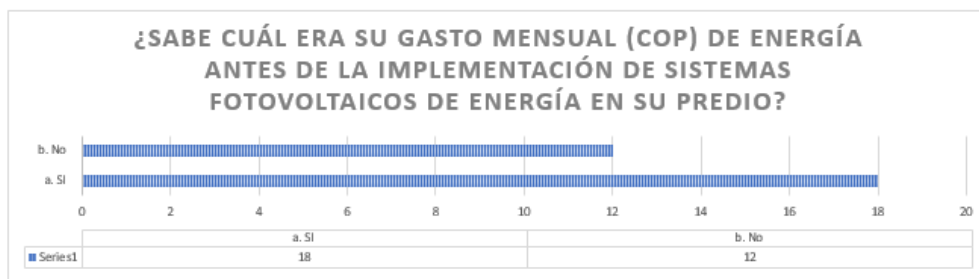


Ilustración 7

Del total de los encuestados, el 60% conocía su gasto mensual (en pesos colombianos) por el cobro de la energía eléctrica que consumía previa implementación de sus SF. En promedio, estos usuarios gastaban mensualmente \$272.233,33 pesos. Si comparamos el gasto promedio mensual con el promedio mensual en kW demandado, se obtiene que por cada kW consumido los usuarios pagaban, en promedio, \$610,39 pesos.

Para atender el análisis de estos datos, se debe tener en cuenta que los usuarios consultados no estaban conectados todos al mismo sistema convencional de energía eléctrica y que, seguramente, el prestador del servicio era distinto debido a su localización geográfica diversa.

Ahora bien, al indagar sobre el costo del consumo actual, posterior a la implementación del SF, los encuestados aportaron los siguientes datos:

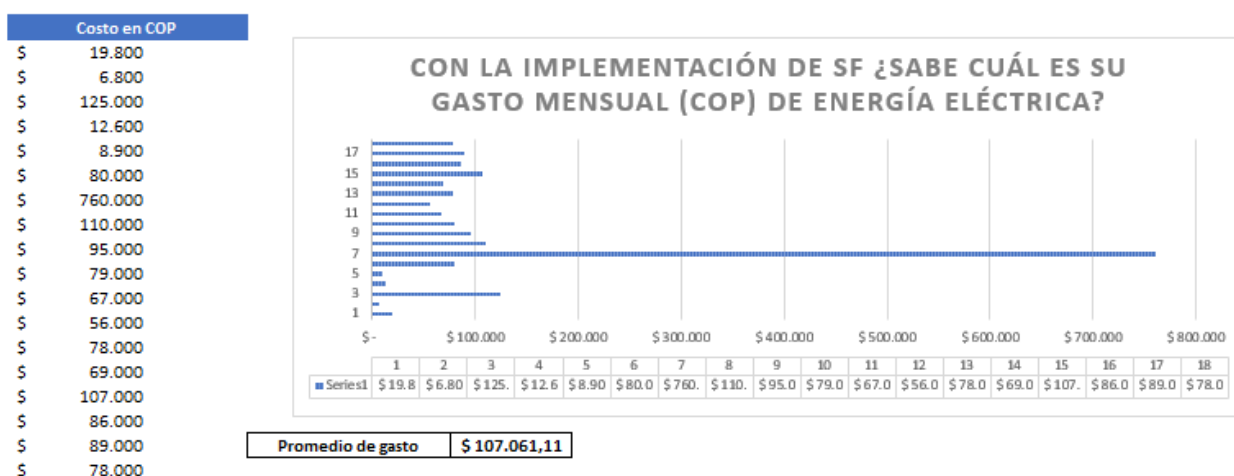


Ilustración 8

Todos los usuarios de SF, sin importar si cubren o no la totalidad de su demanda energética, redujeron sus gastos mensuales en promedio en un 43%. Si comparamos el gasto promedio mensual del SF con el promedio mensual en kW demandado, se obtiene que, en promedio, por cada kW consumido los usuarios pagan ahora \$241.25 pesos.

Esto evidencia que, según las variables establecidas, los sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica reducen ostensiblemente los costos de la electricidad consumida y, tienen la capacidad de cubrir la totalidad de la demanda eléctrica de un predio, otorgándole autonomía energética. Si la demanda no es cubierta en su totalidad, puede aportar al menos dos tercios de la electricidad requerida, exponiendo sus ventajas y fiabilidad.

Ahora, para conocer sobre la incidencia de los mantenimientos del sistema, se indaga en primera medida sobre la periodicidad con la que se realizaban mantenimientos a la red convencional de energía, previa implementación del SF:

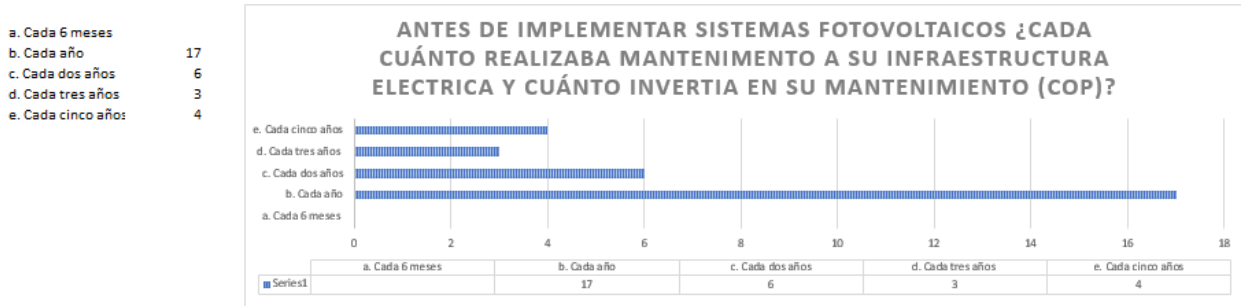


Ilustración 9

En promedio, cuando la energía eléctrica provenía de sistemas convencionales y del servicio público, los mantenimientos se realizaban cada 1.8 años, por requerimiento directo del prestador del servicio como medida preventiva de posibles accidentes.

Costo en COP	
\$ -	21
\$ 7.500.000	1
\$ 500.000	1
\$ 100.000,00	1
\$ 600.000,00	2
\$ 400.000,00	1
\$ 500.000,00	1
\$ 250.000,00	1
\$ 360.000,00	1

Promedio costos de mantenimiento	\$ 1.134.444
----------------------------------	--------------

Ilustración 10

Al indagar sobre los costos de estos mantenimientos, el valor promedio haciende a más de \$1.134.444 teniendo en cuenta que, además de invertir en mantenimientos periódicos de la infraestructura propia del inmueble, el usuario debía acarrear con los costos del mantenimiento

general de la infraestructura que garantizaba el suministro eléctrico hasta su domicilio, lo que incrementaba los costos que debían invertirse en un sistema mayor y extenso.

Ahora consideramos los mantenimientos que realiza cada usuario a su SF y los periodos en que los ejecuta:

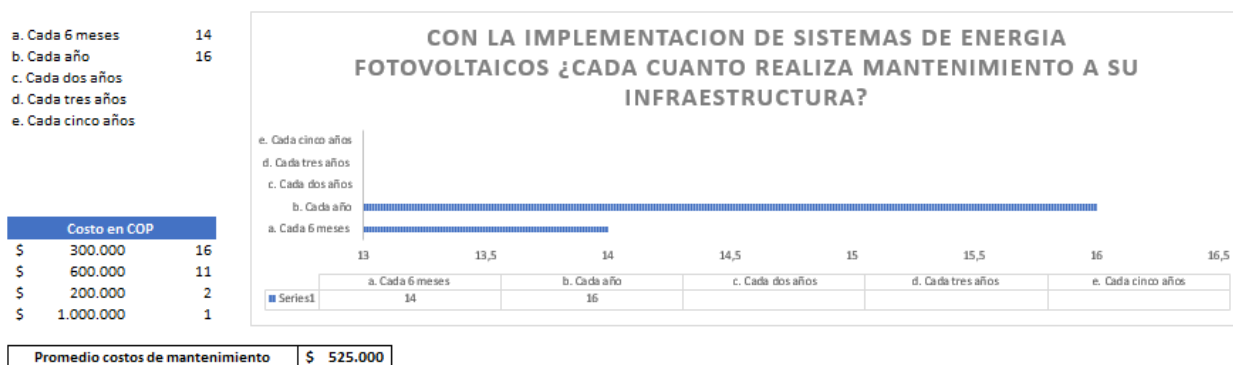


Ilustración 11

En promedio, los mantenimientos de los SF son realizados por sus usuarios cada 6 meses. Este mantenimiento, a diferencia de aquél que requería la conexión a un sistema convencional, se enfoca en garantizar la perdurabilidad y eficiencia del sistema generador del domicilio directamente. El costo promedio del mantenimiento, que es de (COP) \$525.000, expone que el mantenimiento del sistema fotovoltaico en un periodo de mantenimiento similar al promedio requerido en un sistema convencional, es 40% más costoso, al equivaler a (COP) \$1.890.000 el costo del mantenimiento en un periodo de 1.8 años.

De esta manera, se evidencia otra de las variables, al exteriorizar, después de un análisis comparativo y promediado, que el mantenimiento de un sistema fotovoltaico acarrea costos mayores que el mantenimiento requerido por un sistema convencional de generación eléctrica. Sin embargo, al cruzar el mayor costo, que pudiera alcanzar un 40% en comparación con el costo de mantenimiento de un sistema convencional; y, la reducción del costo por kW generado

por un SF que, según este estudio podría alcanzar, en promedio, 43% de ahorro; se evidencia que los sistemas fotovoltaicos, a largo plazo, son más económicos que un sistema convencional.

- a. Reducción de costos de la energía 6
- b. Reducción de dependencia energética 2
- c. Reducción de impactos ambientales 1
- d. Todas las anteriores 21

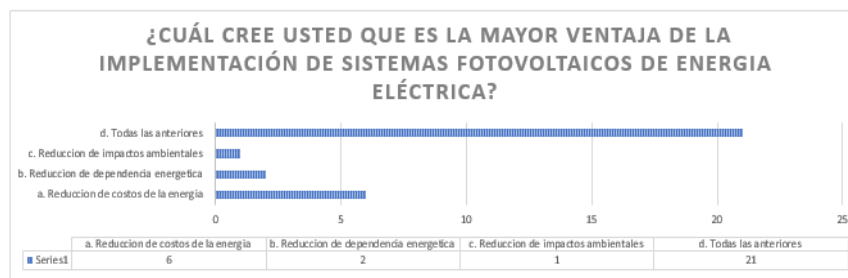


Ilustración 12

Por otro lado, al indagar sobre las ventajas de la implementación de los sistemas fotovoltaicos, los usuarios expusieron que, más allá de la reducción de costos de producción eléctrica, la reducción en la dependencia energética y la disminución en los impactos ambientales, es el conjunto de estas tres ventajas lo que hace a los SF un beneficio en conjunto para los usuarios que los implementen.

- a. Costos de la generación de energía 0
- b. Periodicidad de los mantenimientos 7
- c. Costos de mantenimientos del sistema 5
- d. Todas las anteriores 0
- e. Costos de implementación del sistema 18

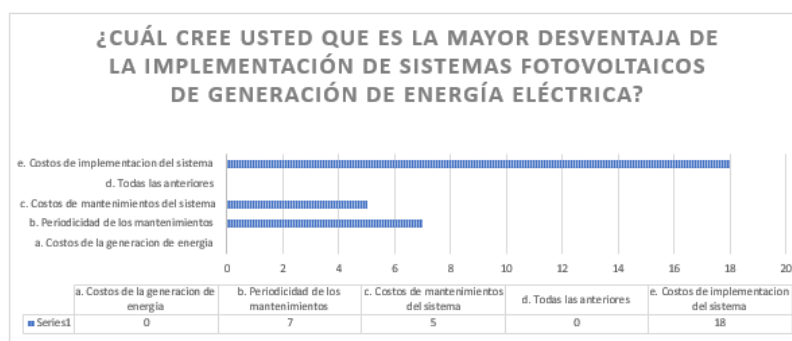


Ilustración 13

En contraposición, al indagar sobre las desventajas de la implementación de los sistemas fotovoltaicos, el 60% de los encuestados opinó que los costos de la implementación del sistema

eran su mayor desventaja, seguida con un 23,3% de los encuestados que consideran la periodicidad de los mantenimientos como su desventaja más relevante. Mientras que el 16,6% considera su mayor desventaja el costo de los mantenimientos.

Lo anterior evidencia otra de las variables planteadas a ser consideradas, teniendo en cuenta que, el costo de instalación es considerada por la mayoría como la desventaja más representativa.

Recomendaciones sobre la utilización de sistemas fotovoltaicos para generación de energía eléctrica

A partir de la información preliminar obtenida de la revisión bibliográfica y de los datos obtenidos del instrumento de recolección utilizado, se proporcionan las siguientes recomendaciones sobre la utilización de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica:

1. Previo a la implementación de un sistema fotovoltaico para la generación eléctrica en un predio determinado, el usuario que desee hacer su implementación deberá definir el porcentaje de la demanda energética del predio que desea cubrir, teniendo en cuenta su anhelo particular, el acceso a sistemas convencionales de generación y transmisión eléctrica y el aislamiento del predio. Esto determinará, además del tipo de sistema fotovoltaico a instalar (On-grid, off-grid o híbrido) e influirá directamente en el costo del sistema teniendo en cuenta que, dependiendo la configuración requerida, variará la cantidad de paneles requeridos por el sistema.
2. Evaluar, con base en la demanda de energía eléctrica actual y las proyecciones que se establezcan para el predio, en primer lugar, y, según los usos actuales y futuros además de las proyecciones de crecimiento del predio, en segundo lugar; la demanda de energía eléctrica real en la que el sistema fotovoltaico participará. Esto con el fin de establecer,

con previsiones objetivas y suficientes, las posibles variaciones que pueda presentar el predio y que, delimitadas previa implementación del sistema fotovoltaico, garantizará la optimización tanto de la inversión inicial como del costo periódico por su mantenimiento.

3. Precisar, teniendo en cuenta la cercanía o el aislamiento del predio y las características de accesibilidad propias del inmueble, la facilidad para desarrollar los mantenimientos periódicos que los sistemas fotovoltaicos requieren. Si el predio se encuentra aislado o alejado de técnicos que se encarguen de esta labor, será necesario que el usuario se capacite en el mantenimiento del sistema para garantizar su eficiencia y durabilidad en el tiempo. También, dependiendo del lugar de instalación de los paneles (que normalmente son instalados sobre la cubierta del inmueble), se deberán adecuar infraestructuras adicionales (como escaleras de gato, claraboyas o líneas de vida permanentes) que garanticen accesibilidad y facilidad al momento de realizar los mantenimientos.

La previsión y definición de estos intangibles garantizará costos de mantenimiento estables y reducirá riesgos en el tiempo posteriores a la implementación de los sistemas fotovoltaicos.

Estas recomendaciones, al igual que las conclusiones de la investigación, se establecen de conformidad con la revisión documental, el instrumento de recolección de datos y las discusiones desarrolladas con los usuarios a partir de su aplicación.

Conclusiones

Con base en la información construida de la indagación documental, los planteamientos establecidos en las variables y los resultados obtenidos de la encuesta desarrollada, podemos concluir lo siguiente:

- La implementación de sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica otorgan ventajas sustanciales, en primera medida, a los usuarios que los emplean, como también al entorno en que se utilizan, debido a las reducciones en la dependencia a sistemas convencionales de producción eléctrica que contaminan en mayor medida.
- Los sistemas fotovoltaicos son capaces de garantizar el cubrimiento total de la demanda energética de una edificación, sobretodo si es de menor escala y su uso conlleva una demanda común. Son especialmente eficientes en edificaciones de uso domiciliario.
- Los sistemas fotovoltaicos aportan gran fiabilidad en la generación eléctrica sin necesidad de depender de sistemas convencionales, lo que los convierte en una opción sustentable para zonas sin conexión eléctrica.
- A mediano plazo, no solamente reducen costos de producción de electricidad sino que también, a largo plazo aportan en la reducción de los costos de mantenimiento (sin importar la periodicidad de estos).
- Si bien los costos de implementación del sistema pueden ser en promedio más altos que la implementación de una conexión a un sistema convencional, a mediano plazo se retornará la inversión realizada.
- A pesar que la implementación y consolidación de los sistemas fotovoltaicos en el país sea reciente, su crecimiento es exponencial y su utilización ha crecido en los últimos años obedeciendo a valiosos aportes, descritos brevemente en esta investigación.

Anexo 1.

Encuesta de percepción de sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica

Lista de referencias

- Aguirre, J. (2015). Inteligencia estratégica: un sistema para gestionar la innovación. *ESTUDIOS GERENCIALES* (31), pp. 100 - 110.
- André, F. J., & Cerdá, E. (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos económicos de ICE*.
- Arango, M. C. (2019). *Panorama energético en Colombia*. Bogotá.
- Banco Mundial. (03 de 10 de 2018). *Entendiendo la pobreza: Energía*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>
- Banco Mundial. (20 de 09 de 2018). *Los desechos: Un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- CAMACOL. (29 de 03 de 2019). *Cámara Colombiana de la Construcción*. Obtenido de <https://camacol.co/comunicados/%E2%80%99cifras-de-empleo-evidencian-la-importancia-del-sector-constructor-en-la-econom%C3%AD#:~:text=Las%20cifras%20del%20Dane%20indican,los%20trabajadores%20a%20nivel%20nacional>.
- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (07 de 2017). *Panorama de las energías renovables en Colombia*. Obtenido de <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Energia-Elctrica/Noticias/2017/Julio-2017/Panorama-de-las-energias-renovables-en-Colombia>
- CEPAL. (2017). *El cambio climático y el sector de energía en América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Cifuentes, F. R. (2018). *Análisis y desarrollo del uso de sistemas de energía solar en construcciones civiles en Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Como se citó en Wasserman, M. (12 de 2012). Innovación con conocimiento. *Colombia Ciencia Pecuaria*. Vol. 25 No. 4, Editorial. Obtenido de Scielo.org.co: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902012000400001#:~:text=En%201979%20el%20gur%C3%BA%20americano,ventajas%20competitivas%20si%20consiguen%20innovar.
- Díaz Fernández, A. (2013). El papel de la inteligencia estratégica en el mundo actual. *Cuadernos de estrategia* (No. 162), pp. 35-66.
- Endesa. (2021). *Cómo se genera la energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/energia-y-mas/como-se-genera-electricidad>
- Espona, M. (07 de 06 de 2017). *Inteligencia estratégica para una mejor proyección*. Obtenido de CONEXIÓN ESAN: <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2017/06/07/inteligencia-estrategica-para-una-mejor-proyeccion/>
- Esquivel Triana, R. (2019). Método histórico e inteligencia estratégica en Colombia, 1888 - 2001. *Revista Científica General José María Córdova*, 17 (26), pp. 379-400.
- FAO. (2008). Oferta y demanda de energía: tendencias y perspectivas. En FAO, *Bosques y energía* (págs. 5 - 23). Roma: Naciones Unidas.
- FAO. (s.f.). *Agroecología y agricultura familiar*. Obtenido de <http://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>
- Fundación Endesa. (2021). *Fundación Endesa*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-que-es-la-energia>
- FUNDACIÓN TELEFÓNICA. (15 de 06 de 2018). <https://ovacen.com/smart-city-ventajas-y-desventajas/>. Obtenido de <https://ovacen.com/smart-city-ventajas-y-desventajas/>

- Gómez-Ramírez, J., Murcia-Murcia, J. D., & Cabeza-Rojas, I. (2017). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, antecedentes y perspectivas*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Merino, L. (2016). Energías renovables para todos. *Energías renovables*, 14.
- Naciones Unidas. (16 de 05 de 2018). *Las ciudades seguirán creciendo, sobretodo en los países en desarrollo*. Obtenido de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- Naciones Unidas. (2021). *Desafíos globales: Población*. UN.
- ONU. (21 de 07 de 2020). *La deforestación disminuye, pero no al ritmo suficiente para proteger el planeta*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2020/07/1477741>
- Organización Meteorológica Mundial. (s.f.). *Desarrollo urbano - Megalópolis*. Obtenido de <https://public.wmo.int/es/desarrollo-urbano-%E2%80%93-megal%C3%B3polis-0>
- Ramírez, J. G., Murcia, J. D., & Rojas, I. C. (2016). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, antecedentes y perspectivas*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Reyes, M. J. (06 de 02 de 2019). *La inteligencia estratégica como instrumento fundamental para la toma de decisiones*. Obtenido de Sociedad Argentina de Estudios Estratégicos y Globales: <https://saeeg.org/index.php/2019/02/06/la-inteligencia-estrategica-como-instrumento-fundamental-para-la-toma-de-decisiones/>
- Rodríguez Valencia, N., & Zambrano Franco, D. A. (2010). *Los subproductos del café: Fuente de energía renovable*. Bogotá: Cenicafé.
- Rueda, N. E., & Cárdenas, X. A. (2015). *Estudio sobre la sustitución por energías renovables (solar fotovoltaica) en las Instituciones Educativas de Básica Primaria y Secundaria en Colombia: Análisis y posibilidades*. 2015: Universidad Santo Tomás.
- Saboori, B., Maimunah, S., & bin Baba, M. (2014). Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in OECD's transport sector: A fully modified bi-directional relationship approach. *Energy*, 150 - 161.
- Salud Ambiental. (2021). Vivienda y salud: eficiencia energética, urbanismo sostenible y agenda 2030. Conclusiones y futuro. *Salud ambiental*, 56 - 64.
- Soria Energía. (22 de 05 de 2019). *¿Qué es el consumo energético?* Obtenido de <https://soriaenergia.com/que-es-el-consumo-energetico/>
- STATISTA. (03 de 06 de 2021). *STATISTA*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial/>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2016). *Invierta y gane con Energía*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- Universidad del País Vasco. (2021). *Universidad del País Vasco*. Obtenido de <https://www.ehu.eus/es/web/araba/campus-iraunkorra-energia-kontsumoa-eraginak>
- Velasco Muñoz, Á., & Salazar Calvache, Ó. (2019). *Evolución de la Generación de Energía Solar Fotovoltaica en Colombia*. Obtenido de <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/2781/EVOLUCI%C3%93N%20DE%20LA%20GENERACI%C3%93N.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- XM. (2020). *Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2020*. Bogotá: XM.

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables de investigación	26
---	----

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1.....	30
Ilustración 2.....	31
Ilustración 3.....	32
Ilustración 4.....	33
Ilustración 5.....	34
Ilustración 6.....	34
Ilustración 7.....	35
Ilustración 8.....	36
Ilustración 9.....	37
Ilustración 10.....	37
Ilustración 11.....	38
Ilustración 12.....	39
Ilustración 13.....	39



ANEXO 1

**Encuesta de percepción de sistemas
fotovoltaicos de generación eléctrica**

**Energías renovables fotovoltaicas: una aproximación descriptiva de su estado y su
aplicación en Colombia**

Realizado por: David Felipe Cortés J. estudiante de Especialización en Gerencia de Proyectos

Objetivo: La presente encuesta tiene como objetivo conocer cuáles son los beneficios, ventajas y desventajas, del uso y aplicación de sistemas fotovoltaicos de uso doméstico e institucional en zonas urbanas de Colombia.

Implementada por:

Encuesta No.:

1. ¿Para qué uso implementa el sistema fotovoltaico de generación eléctrica en su predio?

- a. Domiciliario
- b. Institucional
- c. Empresarial
- d. Industrial
- e. Otro ¿Cuál? _____

2. ¿Hace cuánto tiempo usa sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica?

- a. Entre 0 y 1 año
- b. Entre 1 y 2 años
- c. Entre 3 y 4 años
- d. Cinco años o más

3. ¿Cuántos paneles solares configuran el sistema de energía fotovoltaico de su predio?

- a. Entre 0 y 5
- b. Entre 5 y 10
- c. Entre 15 y 20
- d. Más de 20

4. ¿Sabe cuál es la demanda energética que actualmente tiene su predio?

a. Sí

b. No

Si responde **Sí**, ¿cuál es su consumo?: _____ (kWh)

5. ¿Cubre la demanda energética que tiene su predio con la generación eléctrica de su sistema fotovoltaico?

a. Sí

b. No

6. ¿Cuál es el porcentaje de la demanda energética de su predio que cubre con sistemas fotovoltaicos?

_____ %.

7. ¿Sabe cuál era su gasto mensual (COP) de energía antes de la implementación de sistemas fotovoltaicos de energía en su predio?

a. Sí

b. No

Si responde **Sí**, ¿cuál era su gasto mensual?: \$ _____

8. Actualmente, con sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica ¿cuál es su gasto (COP) mensual en energía eléctrica?

\$ _____

9. Antes de implementar sistemas de energía fotovoltaicos ¿cada cuánto realizaba mantenimiento a su infraestructura eléctrica y cuánto invertía en su mantenimiento (COP)?

a. Cada 6 meses

b. Cada año

c. Cada dos años

d. Cada tres años

e. Cada cinco años

¿Cuánto invertía en su mantenimiento?: \$ _____

10. Con la implementación de sistemas de energía fotovoltaicos ¿cada cuánto realiza mantenimiento a su infraestructura eléctrica?

- a. Cada 6 meses
- b. Cada año
- c. Cada dos años
- d. Cada tres años
- e. Cada cinco años

¿Cuánto invierte en su mantenimiento?: \$ _____

11. ¿Cuál cree usted que es la mayor ventaja de la implementación de sistemas fotovoltaicos de energía eléctrica?

- a. Reducción de costos de la energía
- b. Reducción de dependencia energética
- c. Reducción de impactos ambientales
- d. Todas las anteriores

12. ¿Cuál cree usted que es la mayor desventaja de la implementación de sistemas fotovoltaicos de energía eléctrica?

- a. Costos de la generación de energía
- b. Periodicidad de los mantenimientos
- c. Costos de mantenimiento del sistema
- d. Todas las anteriores