

LOS PANELES FOTOVOLTAICOS COMO ALTERNATIVA DE GENERACION DE
ELECTRICIDAD EN UNA ZONA RESIDENCIAL DE CARTAGENA-COLOMBIA

JUAN CARLOS ACOSTA JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

MEDELLÍN

2020

LOS PANELES FOTOVOLTAICOS COMO ALTERNATIVA DE GENERACION DE
ELECTRICIDAD EN UNA ZONA RESIDENCIAL DE CARTAGENA-COLOMBIA

JUAN CARLOS ACOSTA JIMÉNEZ

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ciencias Naturales y Matemática

Asesor

KATERINA MARÍA SÁNCHEZ PARRA

Magister en Gestión Tecnológica

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

MEDELLÍN

2020

Octubre de 2020

Juan Carlos Acosta Jiménez

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 92, parágrafo, Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma: Juan Carlos Acosta J.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi hermosa esposa Saray, por apoyarme como siempre en mis procesos de formación. También a la docente coordinadora Luz Aída, por su valiosa paciencia y colaboración, y a la docente asesora Katerina, por el acompañamiento en el desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
2. MARCO TEORICO	14
2.1 ANTECEDENTES.....	14
2.2 MARCO REFERENCIAL	19
2.2.1 Eficiencia energética.....	19
2.2.2 Energías renovables.....	19
2.2.3 Radiación solar	20
2.2.4 Energía solar fotovoltaica	21
2.3 MARCO CONCEPTUAL	22
2.3.1 Panel solar.....	22
2.3.2 Regulador (Controlador de carga)	22
2.3.3 Baterías.....	22
2.3.4 Inversor.....	22
2.4 MARCO LEGAL	23
3. METODOLOGÍA	24
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	24
3.2 PARTICIPANTES	24
3.3 DISEÑO METODOLÓGICO	25
3.4 LIMITACIONES	26
3.5 TÉCNICA E INSTRUMENTOS	26
3.6 FUENTES Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN	26
4. RESULTADOS PARCIALES	27
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA Y RED ELECTRICA	27
4.1.1 Viabilidad de la implementación del panel solar.....	27
4.1.2 Caracterización del área de implementación del panel	28
4.2 PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO ADECUADO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.	29
4.2.1 Descripción del consumo eléctrico	29
4.2.2 Tiempo del retorno de la inversión.....	31
4.2.3 Especificaciones del kit solar	32
4.3 BENEFICIOS AMBIENTALES Y ECONÓMICOS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	34
4.3.1 Beneficio económico.....	34
4.3.2 Otros beneficios.....	35
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS).....	10
Figura 2. Línea de tiempo del uso de paneles fotovoltaicos	14
Figura 3. Parque de energía solar de Bhadla	15
Figura 4. Pavagada Solar Park	15
Figura 5. Parque Solar del Desierto de Tengger	16
Figura 6. Benban Solar Park.....	16
Figura 7. Granja Solar Yumbo	17
Figura 8. Techo solar en Centro de Convenciones Cartagena de Indias	18
Figura 9. Eficiencia energética.....	19
Figura 10. Mapa conceptual sobre Energía renovables	20
Figura 11. Energía solar fotovoltaica	21
Figura 12. Componentes de un panel fotovoltaico.....	22
Figura 13. Localización de la zona residencial	24
Figura 14. Potencial de Electricidad fotovoltaica en Colombia	27
Figura 15. Diagnóstico de tomacorrientes	28
Figura 16. Costo por kWh	31
Figura 17. Relación entre consumo y costo.....	34
Figura 18. Relación de costos en factura de energía	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad sobre paneles fotovoltaicos, energía solar en Colombia	23
Tabla 2. Diseño metodológico de la propuesta	25
Tabla 3. Consumos de energía	29
Tabla 4. Relación de costo beneficio de kit solares	30
Tabla 5. Análisis de tiempo de retorno de la inversión	32
Tabla 6. Requerimientos mínimos de energía	32
Tabla 7. Presupuesto del kit solar	33
Tabla 8. Consumo vs Costo del servicio	34

RESUMEN

Esta propuesta consistió en el diseño de una implementación de paneles solares como una alternativa de generación de electricidad en una vivienda ubicada en la ciudad de Cartagena, que ha sido regularmente afectada por los cortes inesperados de energía eléctrica. Inicialmente, se diagnosticó el estado de la red eléctrica de la casa, junto con la medición de los consumos de electrodomésticos para determinar las dimensiones adecuadas al momento de la compra de los componentes y materiales necesarios para el montaje de los paneles fotovoltaicos. Finalmente, al identificar el alto costo a invertir, solo se eligió un kit solar que permite tener una autonomía de funcionamiento por ocho horas de los electrodomésticos básicos.

PALABRAS CLAVE: Energía solar; Paneles fotovoltaicos.

INTRODUCCIÓN

Dentro del programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD), se plantean 17 objetivos de desarrollo sostenible, que buscan poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030. Según las cifras que plantea la PNUD, entre 2000 y 2016, la cantidad de personas con acceso a energía eléctrica aumentó de 78% a 87%, y el número de personas sin energía bajó a poco menos de mil millones (PNUD, 2020). Esto implica que al crecer la población mundial, también lo hará la demanda de energía accesible. En el objetivo de desarrollo sostenible #7 (ODS7), se plantea el caso de la energía asequible y no contaminante, resaltando claramente la necesidad de la inversión en fuentes de energía limpia en pro de mejorar la productividad energética. El ODS11 hace referencia a las comunidades sostenibles y establece que las ciudades ocupan solo el 3% de la tierra, pero representan del 60 al 80% del consumo de energía y al menos el 70% de las emisiones de carbono. Todo lo anterior, contribuye en acciones benéficas con el clima (ODS13).

Por otro lado, el petróleo, carbón y gas natural son fuentes susceptibles de agotamiento y afectan el medio ambiente. Pero, existen otro tipo de energías más seguras y menos contaminantes, llamadas por algunos autores como las energías del futuro, y son aquellas que producen electricidad a partir del sol, el viento, y el agua (Pons, 2016). La presente propuesta se enfoca en la eficiencia energética, se busca implementar una estrategia de uso eficiente y sostenible, mediante el uso de una fuente renovable, en nuestro caso: la energía solar.

La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual (Chavez, 2012). Así teniendo al sol como principal fuente de energía de nuestro planeta, se valida la utilización de los paneles solares constituidos por celdas fotovoltaicas, para transformar la radiación solar en energía electricidad (Arencibia-Carballo, 2016). Por tanto, de las fuentes de energía renovable, la energía solar puede ser considerada como la más importante debido a su abundancia y que siempre está disponible (Granda-Gutiérrez et al., 2013).

Este documento busca dar solución a una problemática particular de un caso de estudio: vivienda ubicada en la ciudad de cartagena, la cual se ha visto afectada constantemente de cortes de energía, y algunas veces, de inestabilidad de voltaje. Esta situación, en gran parte es atribuida a la empresa que suministra el servicio de electricidad, y que casualmente, al momento de desarrollar este proyecto, fue clausurada por la superintendencia de servicios públicos y domiciliarios.

Los resultados de esta propuesta, abren paso a futuros estudios relacionados con la medición del impacto de la implementación de paneles fotovoltaicos como alternativa de generación de electricidad.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el mundo entero, todas las naciones están en búsqueda de optimizar sus recursos naturales, lo cual ha llevado a que se formulen directrices y metas transversales como son los objetivos de desarrollo sostenible. En la figura 1, se resaltan los 17 ODS, y en particular en esta propuesta de investigación se busca aportar con los objetivos 7 (energía asequible), 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (acción por el clima).



Figura 1. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)
Fuente: tomado de <https://www.ifad.org/es/ifad-and-the-sdgs>

En Colombia existen políticas y entidades que propende por la conservación del medio ambiente. Esto infiere que materializar cualquier proyecto que coadyuve en estos procesos de desarrollo sostenible son bienvenidos. Sin embargo, en la costa caribe, la empresa que suministra el servicio de Electricidad es "Electricaribe", la cual está atravesando por una crisis financiera, la cual impacta en el servicio ofrecido generando cortes de energía y en ocasiones inestabilidad en el voltaje.

La historia de Electricaribe se remonta a finales de los años 90 cuando se unieron ocho electrificadoras regionales del Caribe colombiano: la del Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Cesar, Magdalena, la Guajira y Magangué, todas de naturaleza pública (Barrientos, 2019). Pero en el año 2017, la Superintendencia de Servicios Públicos ordena empezar su proceso de liquidación por la incapacidad para prestar el servicio adecuadamente en 188 municipios en los siete departamentos de la costa donde opera.

Existe un problema de subnormalidad eléctrica, definida como una condición de la red que se caracteriza por ser construida o instalada de manera precaria y antitécnica por parte de la misma comunidad (Miranda & Maestre, 2019). Es decir, muchas familias realizan

conexiones ilegales y otros adulteran las conexiones legales, por ejemplo: para ahorrar dinero con el uso constante de aire acondicionado o de conexiones fraudulentas de electrodomesticos. La problemática aumenta en lugares circundantes a las principales ciudades, pues la infraestructura deja mucho que desear. En este estudio, se propone la implementación de unos paneles solares como alternativa de generación de electricidad, en un conjunto de apartamentos ubicados en la ciudad de Cartagena.

Actualmente, existe mucho interés por la aplicación de las fuentes renovables de energía, en particular, la fotovoltaica. En nuestro país está de moda, por la reducción de los costos de fabricación de paneles solares, inversores y componentes del sistema, así como por la intensificación de sus aplicaciones (Castro, 2014). Para el caso particular de un conjunto residencial ubicado en la ciudad de Cartagena, son constantes los cortes de electricidad y aveces cuando retorna el fluido de luz, se han quemado electrodomésticos, sumandole el hecho del alto costo facturado de dicho servicio. Esta situación se agrava con el aislamiento preventivo establecido en la ciudad buscando contrarestar el virus del Covid-19, pues establece la necesidad de estar conectado siempre a internet y para eso es necesario que el modem esté encendido.

Teniendo en cuenta la situación anteriormente descrita se hace necesario responder el interrogante: ¿Cómo deben implementarse paneles fotovoltaicos como una alternativa de generacion de electricidad en una zona residencial de Cartagena?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Dado que la emisión de radiación solar es permanente e inagotable, se establece que la energía solar, como una forma alternativa, renovable, y limpia de contar con electricidad en nuestros hogares (Salas, 2014). La instalación de paneles solares además de ayudar al planeta también contribuye a disminuir el costo del pago del servicio de electricidad. Hasta hace unos años, instalar este sistema fotovoltaico de era demasiado caro para una vivienda residencial, cuyo consumo de energía no era tan alto, lo cual implicaba que no era una inversión rentable. Actualmente los costos han descendido de \$5'000.000 por kilovatio a \$3'000.000 en promedio. Esto hace que se llegue a un punto de equilibrio donde empieza a ser rentable para el autoconsumo de las casas debido a la facilidad de instalación, a la no dependencia de terceros, fácil mantenimiento, entre otros.

El beneficio al desarrollar este trabajo radica en poder implementar paneles solares, que nos permita ahorrar dinero, tener disponibilidad del recurso de una conexión estable a internet, contar con un fluido estable de electricidad y sobre todo, aportar con al eficiencia energética buscando mejorar nuestra calidad de vida. La energía solar fotovoltaica es una fuente inagotable, amigable con el medio ambiente, y es una alternativa para resolver necesidades específicas tales como los cortes recurrentes de energía.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Formular una propuesta de implementación de paneles fotovoltaicos como alternativa de generación de electricidad en una zona residencial de Cartagena-Colombia.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar el consumo actual de energía de los apartamentos de la zona residencial de interés.
- ✓ Identificar los parámetros para el dimensionamiento adecuado de los paneles fotovoltaicos.
- ✓ Cuantificar los beneficios ambientales y económicos de la propuesta a realizar.
- ✓ Definir la propuesta de implementación de paneles fotovoltaicos como alternativa de generación de electricidad de la zona residencial.

2. MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

Desde hace mucho tiempo se ha señalado al Sol como eje fundamental de la vida humana, empezando desde la historia de Grecia, en donde se datan los primeros diseños de casas para aprovechar la luz del sol y a su vez idolatrar a su dios Helios. Seguidamente, los romanos fueron los primeros en usar vidrio en sus ventanas para atrapar la luz solar en sus hogares e invocar a su dios Apolo (ESOMEX, 2020).

En la figura 3 se visualiza una línea de tiempo que muestra un poco de la historia de la implementación de la energía solar, en donde se destaca que el uso del calentador solar de agua que se hizo popular por ese tiempo en Estados Unidos. El crecimiento de esta industria fue alto hasta mediados de los años 1950, cuando el bajo costo del gas natural hizo que disminuyera el uso de dicho calentador.



Figura 2. Línea de tiempo del uso de paneles fotovoltaicos
Fuente: Elaboración propia

El abandono, para fines prácticos, de la energía solar duró hasta los años 1970 porque en esos años el aumento en el precio del petróleo y gas llevó a un resurgimiento en el uso de la energía solar para calentar hogares y agua, así como en la generación de electricidad.

Actualmente, la energía solar se puede usar de dos maneras: como energía térmica solar, en la que el sol se usa para calentar fluidos, los cuales impulsan turbinas y otras máquinas. La segunda manera es la conversión fotovoltaica (paneles solares) en los que la electricidad es producida directamente del sol. Uno de los factores que durante mucho tiempo detuvo la adopción masiva de la energía solar es el alto costo de la misma. Sin embargo, alrededor del mundo se ha venido implementado el uso de dicha estrategia, y dentro de los mayores y exitosos proyectos están los siguientes.



Figura 3. Parque de energía solar de Bhadla

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-mayor-planta-fotovoltaica-del-mundo-se-situa-en-india-y-tiene-una-potencia-de-2-245-mw/>

El parque de energía solar de Bhadla en Rajasthan en India, tiene una capacidad instalada de 2.245 MW y se convierte en la de mayor capacidad del mundo.



Figura 4. Pavagada Solar Park

Fuente: <http://soralitepower.in/entries/pavagada-solar-park-karnatka/pavagada-solar-park-karnatka>

Pavagada Solar Park también está ubicado en la India y es un parque solar repartido en un área total de 53 km^2 terminado en 2019, el parque tiene una capacidad de 2.050 MW y es la segunda planta fotovoltaica más grande del mundo.



Figura 5. Parque Solar del Desierto de Tengger

Fuente: <https://www.xataka.com/energia/gran-muralla-china-sol-planta-solar-grande-mundo-cubre-1-200-km2-esta-ubicada-desierto-tengger>

El parque Solar del Desierto de Tengger tiene una capacidad de 1.547 MW y se instaló en el desierto de Tengger en China. Se comenzó a construir en 2012 y se concluyó a finales de 2015. Se la conoce en China como la “Gran Muralla Solar”.



Figura 6. Benban Solar Park

Fuente: <https://www.africa50.com/news-events/africa50-and-its-partners-announce-the-completion-of-the-390-mw-benban-solar-power-project-in-egypt-289/>

Benban Solar Park es un parque fotovoltaico con una capacidad total de 1.650 MW y se encuentra en Benban, en el desierto occidental de Egipto. Benban es actualmente la cuarta planta de energía solar más grande del mundo.

A continuación se listan otros proyectos de paneles solares alrededor del mundo, junto con su capacidad y ubicación:

- Noor Abu Dhabi. 1.177 MW. (Emiratos Árabes)
- Kurnool Ultra Mega Solar Park. 1.000 MW (India)
- Parque Solar Datong. 1.000 MW (China)
- NP Kunta Ultra Mega Solar Park. 900 MW (India)
- Longyangxia Hydro- Solar PV Station. 850 MW (China)
- Parque Solar PV Villanueva. 828 MW (México)
- Rewa Ultra Mega Solar. 750 MW (India)
- Charanka Solar Park. 690 MW (India)
- Planta fotovoltaica de Kamuthi. 648 MW (India)
- Parque Solar Mohammed bin Rashid Al Maktoum. 613 MW (Emiratos Arabes)
- Solar Star Solar Farm I y II. 597 MW (Estados Unidos)
- Copper Mountain. 552 MW (Estados Unidos)
- Desert Sunlight Solar Farm. 550 MW (Estados Unidos)
- Topaz Solar Farm. 550 MW (Estados Unidos)
- Núñez de Balboa. 500 MW (España)
- Huanghe Hydropower Golmud Solar Park. 500 MW (China)

Cabe resaltar que los principales proyectos a nivel mundial se encuentran ubicados en Asia, específicamente en la India. En Colombia, también existen muchos proyectos de paneles fotovoltaicos, dentro de los cuales se resalta la granja fotovoltaica construida por Celsia en Yumbo. Dicho proyecto tiene una capacidad instalada de 9.8 MW lo cual equivale al consumo de ocho mil hogares (Celsia, 2018).



Figura 7. Granja Solar Yumbo

Fuente: <https://www.celsia.com/es/sala-prensa/con-celsia-solar-yumbo-colombia-cumple-un-a241o-generando-enera237a-renovable-a-gran-escala>

La energía solar, también se ha implementado en muchos proyectos de viviendas, empresas, universidades, centros comerciales, entre otros. A continuación se listan algunos de ellos.

- La fábrica de la Compañía Nacional de Chocolate en Rionegro (Antioquia), con capacidad de generar 2132 kWh y atiende la demanda del 15% del consumo de la empresa.
- El proyecto de casas campestres Océano Verde en Jamundí (Valle del Cauca).
- En el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT en Palmira (Valle del Cauca), está un piso solar de autogeneración con capacidad de 902 kWh.
- En el Colegio Ramón B. Jimeno en Bogotá cuenta con 100% de iluminación producida con energía solar gracias a la instalación de 148 paneles solares.
- En la Universidad Autónoma de Occidente de Cali, hay instalados 1546 módulos solares que generan 402 Kwh.
- En el centro comercial La Reserva en Envigado (Antioquia), tiene 96 módulos solares que producen más de 43700 kWh al año.
- En el centro Comercial Plaza de las Americas en Bogotá hay un parqueadero con carga para bicicletas eléctricas totalmente con energía solar.

Por su parte en la costa caribe, se resaltan proyectos en el departamento de Bolívar, más exactamente en Santa Rosa de Lima, también desarrollado por la empresa Celsia y tiene una capacidad instalada de generación de 8,8 MW. En cuanto a Cartagena, el Centro de Convenciones Cartagena de Indias 1656 módulos fotovoltaicos con una capacidad de 444,14 kWh, que abastece el 18% de la energía que actualmente consume y se ha convertido en el primer centro de convenciones que cuenta con sistema de generación de energía solar en esa región del continente (C.C. Cartagena de Indias, 2020).



Figura 8. Techo solar en Centro de Convenciones Cartagena de Indias
Fuente: <https://cccartagena.com/energia-solar-en-el-centro-de-convenciones-cartagena-de-indias/>

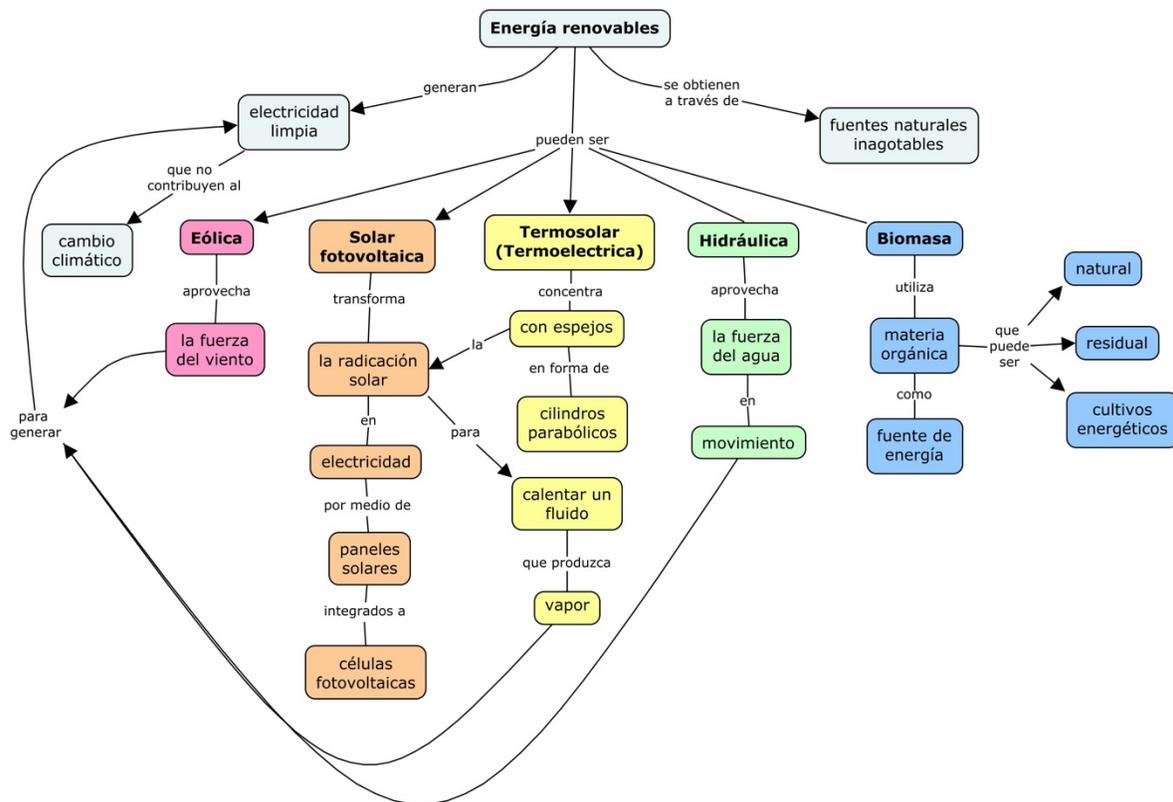


Figura 10. Mapa conceptual sobre Energía renovables
Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de la energía empleada actualmente en el mundo proviene de los combustibles fósiles, el agotamiento de las fuentes tradicionales de energía ha creado la necesidad de considerar recursos inagotables como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la tierra, las cuales conforman las energías alternativas o renovables. En Colombia, existen proyectos que implementan las energías renovables eólica, termosolar, hidráulica, y de biomasa. En esta propuesta se busca implementar el caso específico de la energía solar mediante paneles fotovoltaicos.

2.2.3 Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar (IDEAM, 2020). Además, dicha radiación se puede aprovechar de dos maneras por medio de calor mediante captadores o colectores térmicos (Energía Solar Térmica) o electricidad a través de los llamados módulos fotovoltaicos (Energía Solar Fotovoltaica).

Colombia está ubicada en un lugar privilegiado en cuanto a la energía solar recibida durante todo el año, pues se encuentra localizada sobre la línea ecuatorial y no existen las estaciones; todas las épocas del año son muy parecidas, la duración de los días y las

noches es similar y por lo tanto la incidencia de los rayos solares es prácticamente constante durante todos los días del año.

2.2.4 Energía solar fotovoltaica

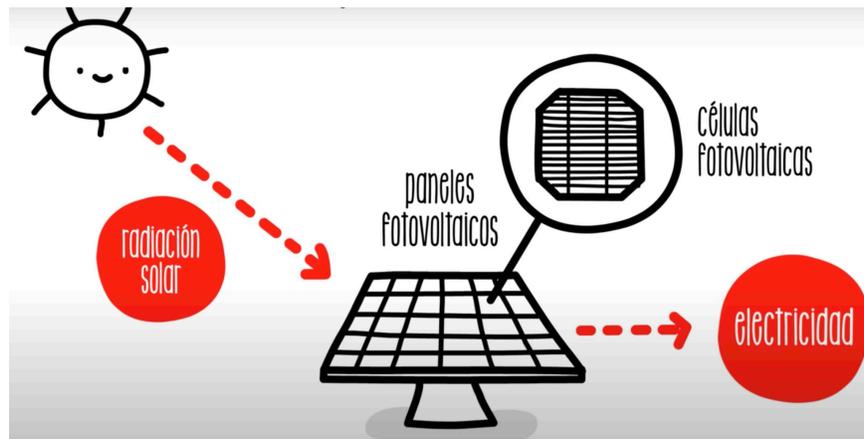


Figura 11. Energía solar fotovoltaica

Fuente: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por Edmond Becquerel en 1839 y sustentado en 1921 por Albert Einstein. Consiste en la transformación de radiación del sol en energía a través de una corriente continua eléctrica que se consigue por el uso de materiales semiconductores. Dicha transformación en energía es inmediata gracias a los módulos fotovoltaicos (Perpiñan, 2014). Al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (que conforman los paneles) se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Para llevar a cabo esta propuesta, es necesario indagar, estudiar, explorar, conocer y dominar los principales conceptos a desarrollar, a saber:

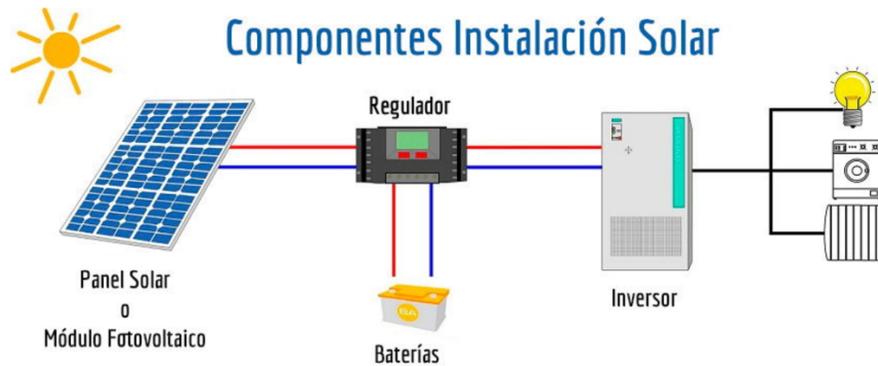


Figura 12. Componentes de un panel fotovoltaico

Fuente: <https://atersa.shop/diferencias-entre-los-reguladores-de-carga-solar-pwm-y-mppt/>

2.3.1 Panel solar

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. La función principal de un panel fotovoltaico es soportar mecánicamente a las células fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años. El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar (Pilco & Jaramillo, 2008).

2.3.2 Regulador (Controlador de carga)

Protege las baterías y su selección depende del tipo de paneles y del banco de baterías. El controlador de carga, es un equipo electrónico que se requiere principalmente para garantizar la buena operación y vida útil de las baterías; aunque también, algunos tipos de reguladores, tienen funciones para cuidar y proteger los paneles y los equipos de la instalación (Acevedo, 2016).

2.3.3 Baterías

Almacenan la electricidad producida por los paneles solares y así tenerla disponible para transformarla y utilizarla cuando y como el usuario lo requiera (Acevedo, 2016).

2.3.4 Inversor

Se encarga de convertir la corriente continua (12V, 24V ó 48 V), entregada por los paneles o por las baterías, a corriente alterna (110V, 220V) requeridas por los distintos tipos de cargas o consumos (González, 2018).

2.4 MARCO LEGAL

Tabla 1. Normatividad sobre paneles fotovoltaicos, energía solar en Colombia

Normatividad	Descripción
Constitución política de Colombia (1991)	Art. 365, Cap. IV (De la finalidad social del estado y de los servicios públicos). Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios.
Ley 143 de 1994	Cap. I (Principios generales) En relación con el servicio público de electricidad, al estado le corresponde asegurar la adecuada incorporación de los aspectos ambientales en la planeación y gestión de las actividades del sector
Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve la utilización de energías alternativas
Ley 1151 de 2007	Promoción de proyectos piloto de generación de energía eléctrica que estén soportados en la implementación de tecnologías que utilicen fuentes de energía alternativa.
Ley 1715 de 2014	Promover el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético nacional.
NTC 2775 y NTC 1736	Definiciones relacionadas con las instalaciones solares fotovoltaicas.
NTC 2883	Características y las especificaciones para los paneles solares fotovoltaicos.
NTC 2959 y NTC 5287	Características y las especificaciones para las baterías solares fotovoltaicas.
GTC 114 y NTC 2050	Características y las especificaciones para las instalaciones solares fotovoltaicas.

Fuente: Elaboración propia

3. METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque mixto pues se centra en las percepciones de las personas que de modo directo o indirecto están involucradas en la propuesta, esto implica un enfoque cualitativo. Por su parte, al plantear un problema de estudio delimitado y concreto, donde los datos obtenidos son producto de mediciones representadas por números, se tiene el enfoque cuantitativo (Hernandez et al., 2018). Según el nivel de conocimiento, el alcance de esta propuesta es descriptivo, debido a que considera al fenómeno estudiado y sus componentes especificando sus características y perfiles.

3.2 PARTICIPANTES

La temática de esta investigación gira alrededor de la producción de electricidad, en el marco de la energía solar como propuesta de sostenibilidad, ahorro de energía y presupuesto. En la figura 13, se visualiza la delimitación espacial, considerando una zona residencial ubicada al sur-este de la ciudad de Cartagena, departamento de Bolívar en Colombia.

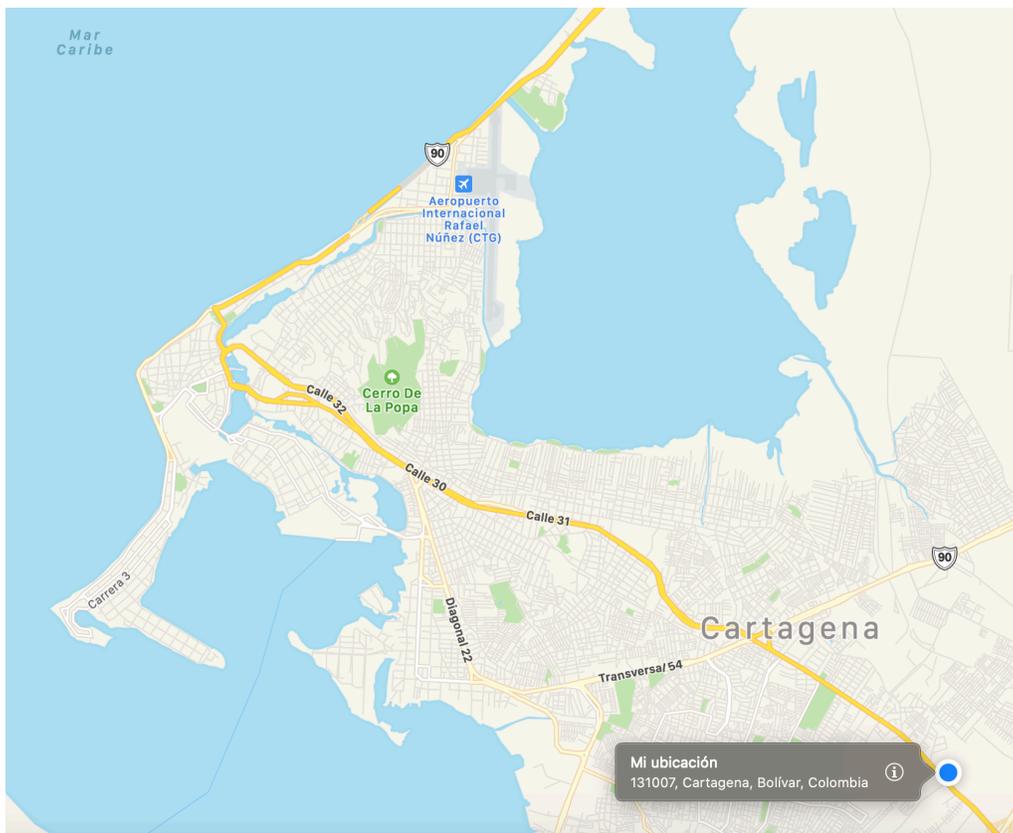


Figura 13. Localización de la zona residencial
Fuente: Elaboración propia en aplicación Mapas (Apple)

Por las condiciones de la propuesta, existe una influencia y razones de comodidad en la recolección de la información, lo cual implica un tipo de muestreo no probabilístico con fines especiales (Hernandez et al., 2017). El objeto de estudio son los consumos de electricidad en una muestra específica de 3 apartamentos, que cuentan con igual número de familias, para un total de 7 residentes.

En la delimitación temporal, se plantea un tiempo para recolección de información e implementación de la propuesta, comprendido entre el mes de agosto y octubre del año 2020.

3.3 DISEÑO METODOLÓGICO

Tabla 2. Diseño metodológico de la propuesta

Objetivo general	Fases	Actividades
Formular una propuesta de implementación de paneles fotovoltaicos como alternativa de generación de electricidad en una zona residencial de Cartagena-Colombia	Fase 1: Caracterización del consumo de electricidad	✓ Revisión documental del estado del arte sobre proyectos de energía solar a nivel internacional, nacional y local.
		✓ Entrevista con los residentes participantes en el estudio.
		✓ Diagnóstico al estado del sistema eléctrico de la casa de interés.
	Fase 2: Identificación de parámetros	✓ Descripción del consumo eléctrico de los electrodomésticos y aparatos electrónicos.
		✓ Listado de especificaciones de materiales y recursos a utilizar en los paneles fotovoltaicos
Fase 3: Identificación de costo-beneficio	✓ Cálculo del tiempo de retorno de la inversión.	
Fase 3: Propuesta de implementación	✓ Análisis del costo beneficio de la implementación de los paneles fotovoltaicos	
		✓ Elaboración de la propuesta de paneles fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

3.4 LIMITACIONES

Se establece la no utilización de los medidores de área como técnica de recolección de información, debido a su alto costo que no permite la instalación de los mismos. Por ende, se plantea como fuente de información la revisión documental.

3.5 TÉCNICA E INSTRUMENTOS

Considerando el tipo de investigación y sus características, la técnica de recolección de la información fue la encuesta y el instrumento a utilizar es un cuestionario online elaborado con la herramienta formularios de Google Drive. También, se plantea la observación directa utilizando una hoja de recogida de datos.

3.6 FUENTES Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN

La fuente de información primaria son los recibos de energía de meses anteriores de cada uno de los tres apartamentos, otras fuentes de información son los artículos, informes, libros, encontrados en las base de datos, repositorios académicos y páginas oficiales relacionadas con el tema de energía solar. Además, se consultará con personal calificado y con experticia relacionada con los paneles fotovoltaicos.

Para el tratamiento, consolidación e interpretación de los datos se usaran métodos estadísticos univariados (Díaz & González, 2013), tales como medidas de tendencia central, medidas de dispersión, correlación entre variables consumo vs valor a pagar. La data recolectada será cargada en Microsoft Excel y se hará uso de los paquetes estadísticos Minitab y del software libre R.

4. RESULTADOS PARCIALES

4.1 Caracterización del consumo de energía y red eléctrica

4.1.1 Viabilidad de la implementación del panel solar

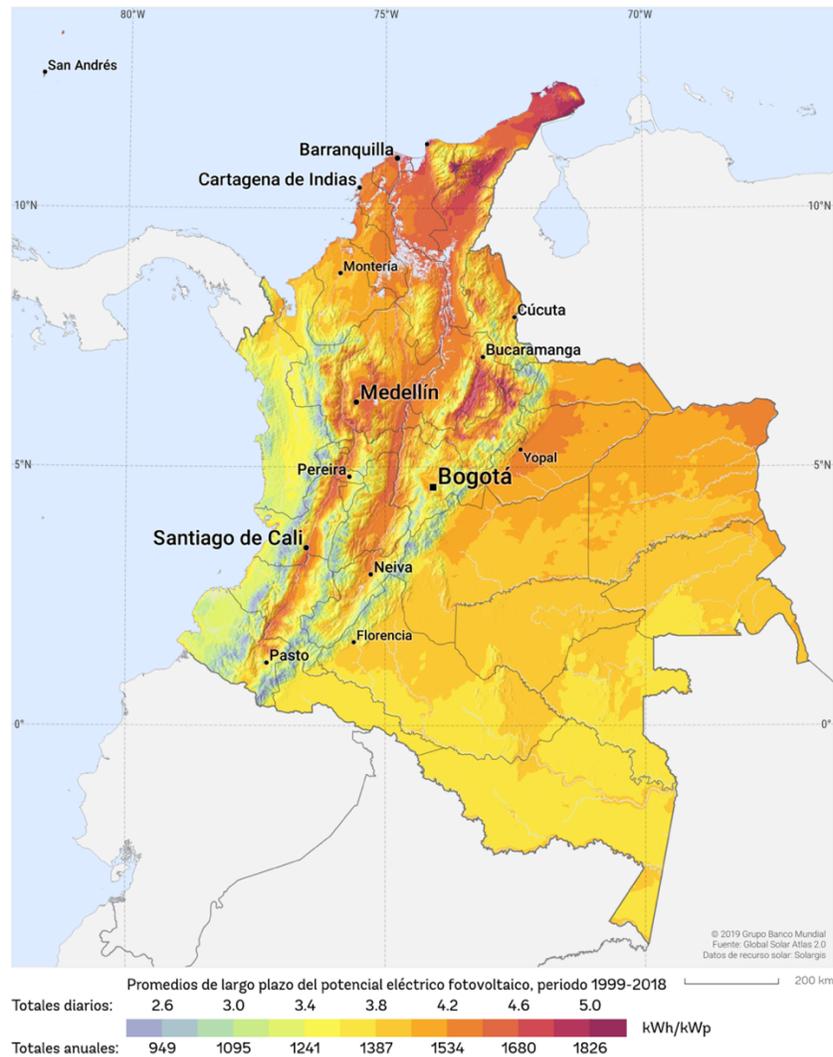


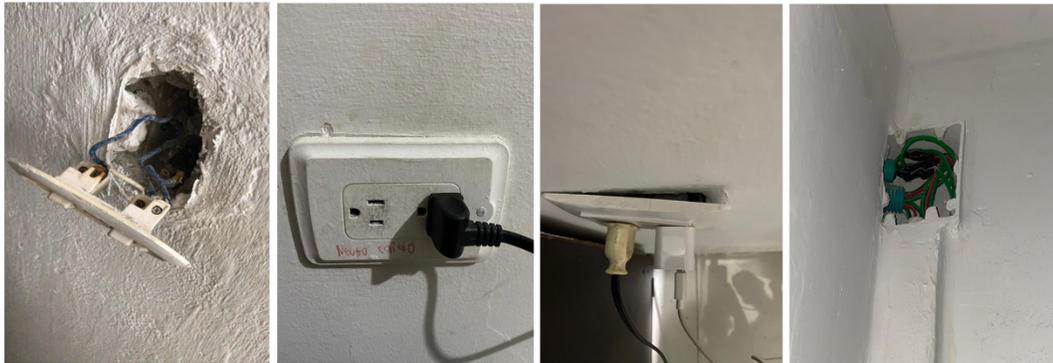
Figura 14. Potencial de Electricidad fotovoltaica en Colombia
Fuente: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/colombia>

La energía eléctrica generada mediante paneles solares fotovoltaicos es inagotable y no contamina, por lo que contribuye al desarrollo sostenible. Además, puede aprovecharse de dos maneras diferentes: venderse a la red eléctrica o puede ser consumida en lugares aislados donde no existe una red eléctrica convencional (ACCIONA, 2019). En la figura 14, se evidencia que la costa atlántica tiene un alto promedio de potencial eléctrico, lo cual garantiza la implementación de los paneles propuestos.

4.1.2 Caracterización del área de implementación del panel

Para el caso particular de la zona residencial de interés: una casa en un conjunto cerrado, se pueden listar las siguientes características de la parte eléctrica:

- El suministro a pesar de ser estable, presenta cortes constantes no programados.
- Cuando el fluido eléctrico regresa, a veces el voltaje es inestable y se debe esperar cierto tiempo para subir nuevamente los breakers.
- Se puede identificar que existen algunas conexiones con problemas de seguridad e inadecuado estado. Por ejemplo, en una última revisión, se evidenció en un tomacorriente de una habitación que al momento de conectar un televisor, este no encendía. Otro hecho importante fue al momento de realizar un test del voltaje con un multímetro, pues se registraron valores menores a 100 voltios, lo cual es mucho menor a lo deseado para una red domestica que son 110 voltios.



*Figura 15. Diagnóstico de tomacorrientes
Fuente: Elaboración propia*

Por otro lado, en la figura anterior, se visualizan problemas con cableado no reglamentario, tomacorrientes en mal estado y no conformidades en cuanto a la seguridad de algunos puntos de conexión.

4.2 Parámetros para el dimensionamiento adecuado de los paneles fotovoltaicos.

4.2.1 Descripción del consumo eléctrico

Para el cálculo de las especificaciones del sistema de paneles solares a implementar, se realizó un análisis del consumo energético del último mes, de acuerdo con los aparatos y electrodomésticos con que actualmente cuenta la casa.

Tabla 3. Consumos de energía

					Totales	429	\$342	\$8.201	\$246.034
Ubicación	Aparato	Potencia (Watts)	Potencia (kWh)	Horas de consumo x día	Días de consumo x mes	Consumo mensual (kWh)	Costo x hora	Costo x día	Costo x mes
Cuarto 1	AA 1	200,75	0,20075	10	30	60,23	\$48	\$1.150	\$34.509
	Abanico modem	40	0,04	24	30	28,80	\$23	\$550	\$16.502
	abanico Pc	2,8	0,0028	24	30	2,02	\$2	\$39	\$1.155
	deco 1	14,5	0,0145	24	30	10,44	\$8	\$199	\$5.982
	Cargador de mac	61	0,061	2	30	3,66	\$3	\$70	\$2.097
	Cargador Hp	132,42	0,13242	4,7	30	18,67	\$15	\$357	\$10.699
	Abanico negro Samurai	85	0,085	9	30	22,95	\$18	\$438	\$13.150
	abanico de piso	40	0,04	1	30	1,20	\$1	\$23	\$688
	abanico de pared	90	0,09	9	30	24,30	\$19	\$464	\$13.924
	TV2	140	0,14	4	26	14,56	\$12	\$278	\$8.343
	DVD cuarto	85	0,085	2	4	0,68	\$1	\$13	\$390
	Bombilla 1	20	0,02	1	30	0,60	\$0	\$11	\$344
	Bombilla (baño)	20	0,02	1	30	0,60	\$0	\$11	\$344
	UPS	375	0,375	1	8	3,00	\$2	\$57	\$1.719
	modem	14,5	0,0145	24	30	10,44	\$8	\$199	\$5.982
	Cargador Ipads	12	0,012	3	30	1,08	\$1	\$21	\$619
Cargador Iphones	18	0,018	1,5	30	0,81	\$1	\$15	\$464	
Sala	DVD sala	49	0,049	3	4	0,59	\$0	\$11	\$337
	TV1	175	0,175	3	30	15,75	\$13	\$301	\$9.025
	14 Bombillas LED	7	0,007	4	30	0,84	\$1	\$16	\$481
Cocina	Nevera	32	0,032	24	30	23,04	\$18	\$440	\$13.202
	Licuadaora	600	0,6	0,07	30	1,20	\$1	\$23	\$688
	Horno	1000	1	0,03	30	1,00	\$1	\$19	\$573
	Tostadora	1200	1,2	0,10	8	0,96	\$1	\$18	\$550
	Air frier	1000	1	0,17	12	2,00	\$2	\$38	\$1.146
	Exprimidor	20	0,02	0,33	3	0,02	\$0	\$0	\$11
Cuarto 2	Abanico negro	85	0,085	20	30	51,00	\$41	\$974	\$29.223
	Abanico negro 2	85	0,085	20	30	51,00	\$41	\$974	\$29.223
	TV3	138	0,138	9	30	37,26	\$30	\$712	\$21.350
	AA 2	200,75	0,20075	3	4	2,41	\$2	\$46	\$1.380
	Cargador Celular 3	12	0,012	2	30	0,72	\$1	\$14	\$413
	Cargador Celular 4	12	0,012	2	30	0,72	\$1	\$14	\$413

	Cargador Pc3	90	0,09	3	26	7,02	\$6	\$134	\$4.022
Cuarto 3	Abanico negro 2	85	0,085	2	10	1,70	\$1	\$32	\$974
	TV4	120	0,12	2	8	1,92	\$2	\$37	\$1.100
	Caminadora	746	0,746	1	20	14,92	\$12	\$285	\$8.549
	Controladora Pioner	40	0,04	2	1	0,08	\$0	\$2	\$46
	2 Cabinas activas	360	0,36	2	1	0,72	\$1	\$14	\$413
	Luces	90	0,09	2	1	0,18	\$0	\$3	\$103
Patio	Lavadora	350	0,35	2	13	9,10	\$7	\$174	\$5.214
	Bombillos	20	0,02	2	30	1,20	\$1	\$23	\$688

Fuente: Elaboración propia

Según las cotizaciones realizadas de acuerdo a un consumo estimado de 429 kWh por mes, se relacionan a continuación las dos mejores opciones de acuerdo con la relación de costo beneficio y que cuentan con todos los componentes necesarios para su funcionamiento: paneles, regulador, inversor y baterías.

Tabla 4. Relación de costo beneficio de kit solares

Sistema de panel solar	Precio	Capacidad por mes	Valor por kWh
 <p>KIT SOLAR HOGAR HIBRIDO </p> <p>INGENIERÍA SUSTENTABLE</p> <p>APROVECHA EL SOL PARA MANTENER TU HOGAR ENERGIZADO!</p> <p>AHORRA Y DISFRUTA DEL ACCESO A LA ENERGÍA GRACIAS A ESTE KIT HIBRIDO CON TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA, IDEAL PARA FINCAS, CASAS DE CAMPO O CIUDAD... APROVECHA LA ENERGÍA GRATIS E INAGOTABLE DEL SOL PARA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ILUMINAR TUS ESPACIOS DE TRABAJO O DESCANSO RECARGAR EL CELU O GADGETS UTILIZAR TU COMPUTADOR PORTATIL VER TUS PROGRAMAS FAVORITOS DE TELEVISIÓN MANTENER TUS ALIMENTOS Y BEBIDAS FRÍAS DISFRUTAR DE 3,5 HORAS DE AUTONOMIA A FULL CARGA POR CORTES DE ENERGIA <p>PLUG AND PLAY, FÁCIL Y RÁPIDO!</p> <p>SOLENG, EL PROVEEDOR SOLAR</p> <p>www.ingenieriasustentable.com info@ingenieriasustentable.com +57 312 451 5241 Funza, Cundinamarca</p> <p>Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCOJ-501119/95-kit-energia-solar-hogar-hibrido-off-grid-ups-panel-bateria-_JM?reco_item_pos=2&reco_backend=machinalls-v2p&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=b48200b4-857e-4740-bb38-4360f55f66c</p>	\$7.499.000	54 kWh	\$138.700

 <p>Nuevo</p> <p>Planta Panel Solar Fv-600 Fuente Apta Motobomba, Tv, Aire Ac</p> <p>\$ 11.000.000</p> <p>Disponible 18 días después de tu compra</p> <p>36 cuotas de \$ 305.556</p> <p>VISA</p> <p>Ver los medios de pago</p> <p>Entrega a acordar con el vendedor Duitama, Boyacá</p> <p>Ver costos de envío</p> <p>Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-575579720-planta-panel-solar-fv-600-fuente-apta-motobomba-tv-aire-ac-JM#position=1&type=item&tracking_id=c9ad6681-fa2c-4921-be19-577cd890c13a</p>	\$11.000.000	80 kWh	\$137.500
--	--------------	--------	-----------

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, por cada *kWh* que se desee cubrir, se necesitan por lo menos \$137.500. Esto implica que si queremos suministrar toda la energía a la casa durante un mes, se necesitarían aproximadamente \$58'987.500 ($\137.500×429).

4.2.2 Tiempo del retorno de la inversión

Realizando un análisis del tiempo del retorno de la inversión, en la figura 16 se observa que el valor del consumo es de \$517.43 por cada kilovatio hora consumido, correspondiente a un nivel socioeconómico de estrato 3. Luego, con la implementación de los paneles se ahorrian aproximadamente por mes \$221.978 ($\517.43×429).

Datos de lectura					
Fecha Lectura Anterior:	18/04/2020	Fecha Lectura Actual:	18/05/2020	Días Facturados	30
Medidor	Tipo	Lectura Actual	Lectura Anterior	Factor Múltiplo	Consumo KWh
5472095	Activa BT	48098	47327	1	771
Novedad en Lectura: -0-			Propiedad del Activo: Cliente MEDICION		
Costo unitario \$/kWh			Datos de consumo		
Otras Entidades	G	282,24	Tarifa en \$/kWh	Consumo kWh	Valor en \$
	T	38,40	Consumo	517,43 x 173	89.515,39
	PR	50,88		517,43 x 598	309.423,14
	R	0,94	Subsidio	77,62 x 173	-13.428,26
Operación Electricaribe	D	75,31			
	C	69,65			
Total					385.510

Figura 16. Costo por kWh

Fuente: Elaboración propia

Así las cosas, considerando constante el precio del valor unitario del kWh consumido, se necesitarían mínimo 266 meses (22.2 años) para la recuperación del capital invertido y se obtendría una ganancia mínima de \$7.605.741. Pero, no se ha tenido en cuenta los costos de instalación, mantenimiento (anual) y cambio de baterías (cada 2-3 años), por ende, es muy posible que la utilidad obtenida es esta posible inversión sea mínima.

Tabla 5. Análisis de tiempo de retorno de la inversión

Costo total de la inversión	Valor ahorrado x mes	Total de meses para recuperar inversión	Tiempo de vida de los paneles (25 años)	Total valor ahorrado	Diferencia de valor invertido y valor ahorrado
\$ 58.987.500	\$ 221.977	266	300	\$66.593.241	\$7.605.741

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, dentro de las actividades a desarrollar para la instalación de los paneles se requiere:

- Revisión del cableado instalado de toda la casa por parte de un electricista certificado.
- Se hace necesario la adecuación de una base sólida de concreto (3m x 4m) en donde se puedan instalar las celdas, regulador y baterías. Para esto se hace necesario la construcción de un plafón en el patio del primer piso de la vivienda.

4.2.3 Especificaciones del kit solar

Esta propuesta se simplifica a satisfacer la necesidad de suplir los constantes cortes de energía, que dificultan en gran medida en estos momentos en teletrabajo, sumado con el hecho de que la región caribe se caracteriza por tener una alta temperatura. Es decir, solo es necesario garantizar que si se va la luz, tener la siguiente capacidad de suministro de energía por lo menos por 8 horas.

Tabla 6. Requerimientos mínimos de energía

Electrodoméstico	Cantidad	Consumo individual (W)	Consumo total (W)	Consumo total (kWh)	Horas de consumo x día	Capacidad necesaria (kWh)
Nevera	1	32	32	0.032	8	0.256
Cargador Pc	1	66	66	0.07	1	0.066
Abanico	1	80	80	0.08	8	0.640
Modem	1	14	14	0.014	8	0.112
Bombillas	2	7	14	0.014	8	0.112
Capacidad requerida en un día						1.19

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la tabla 7 se relaciona el presupuesto de la inversión de la implementación de unos paneles fotovoltaicos con capacidad de satisfacer 1.19 kWh, por 8 horas (una noche entera).

Tabla 7. Presupuesto del kit solar

Concepto		Valor																							
<p style="text-align: center;">Kit panel solar (todo incluido)</p> <div style="text-align: right;">  </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">KIT SOLAR FINKERO</th> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">ESPECIFICACIONES</th> <th style="text-align: center;">COMPONENTES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 20%;">POTENCIA GENERADA</td> <td style="width: 20%;">1120 Wh/día</td> <td style="width: 60%;">1 PANEL SOLAR</td> </tr> <tr> <td>VOLTAJE DE TRABAJO</td> <td>24 VDC-110 VAC</td> <td>1 CONTROLADOR DE CARGA</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">SALIDAS</td> <td>(2) 5 VDC</td> <td rowspan="3">2 BATERIAS</td> </tr> <tr> <td>(1) 24 VDC</td> </tr> <tr> <td>(1) 110 VAC</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> • La potencia generada se calculó con las horas pico solar críticas, dependiendo del lugar de uso, es posible que la generación se aumente. • Caja de conexiones para uso interior, panel para instalación en el exterior </td> <td style="text-align: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center; font-size: small;">INCLUYE SOPORTE PANELES, CAJA EN ALUMINIO, CABLEADO Y CONEXIONES ELECTRICAS.</p> </td> </tr> <tr> <td>APLICACIONES</td> <td>ILUMINACIÓN, CARGA DE CELULAR, CARGA DE PC PORTATIL, TV, RADIO</td> <td> <p style="text-align: center;">SIRVE PARA:</p> 4 a 6 h. DE TELEVISIÓN, 5 CARGAS DE CELULAR, 10 h. DE MUSICA, 2 CARGAS DE PC PORTATIL, 5 BOMBILLOS POR 5 h. </td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: x-small; margin-top: 5px;">Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480264433-kit-energia-solar-hogar-y-finca-usb-panel-bateria-regulador-JM#reco_item_pos=1&reco_backend=machinalis-v2p&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=267bac0c-1613-476c-b007-a2ac8d5abe0a</p>		KIT SOLAR FINKERO			ESPECIFICACIONES		COMPONENTES	POTENCIA GENERADA	1120 Wh/día	1 PANEL SOLAR	VOLTAJE DE TRABAJO	24 VDC-110 VAC	1 CONTROLADOR DE CARGA	SALIDAS	(2) 5 VDC	2 BATERIAS	(1) 24 VDC	(1) 110 VAC	<ul style="list-style-type: none"> • La potencia generada se calculó con las horas pico solar críticas, dependiendo del lugar de uso, es posible que la generación se aumente. • Caja de conexiones para uso interior, panel para instalación en el exterior 		<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center; font-size: small;">INCLUYE SOPORTE PANELES, CAJA EN ALUMINIO, CABLEADO Y CONEXIONES ELECTRICAS.</p>	APLICACIONES	ILUMINACIÓN, CARGA DE CELULAR, CARGA DE PC PORTATIL, TV, RADIO	<p style="text-align: center;">SIRVE PARA:</p> 4 a 6 h. DE TELEVISIÓN, 5 CARGAS DE CELULAR, 10 h. DE MUSICA, 2 CARGAS DE PC PORTATIL, 5 BOMBILLOS POR 5 h.	\$4.859.000
KIT SOLAR FINKERO																									
ESPECIFICACIONES		COMPONENTES																							
POTENCIA GENERADA	1120 Wh/día	1 PANEL SOLAR																							
VOLTAJE DE TRABAJO	24 VDC-110 VAC	1 CONTROLADOR DE CARGA																							
SALIDAS	(2) 5 VDC	2 BATERIAS																							
	(1) 24 VDC																								
	(1) 110 VAC																								
<ul style="list-style-type: none"> • La potencia generada se calculó con las horas pico solar críticas, dependiendo del lugar de uso, es posible que la generación se aumente. • Caja de conexiones para uso interior, panel para instalación en el exterior 		<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center; font-size: small;">INCLUYE SOPORTE PANELES, CAJA EN ALUMINIO, CABLEADO Y CONEXIONES ELECTRICAS.</p>																							
APLICACIONES	ILUMINACIÓN, CARGA DE CELULAR, CARGA DE PC PORTATIL, TV, RADIO	<p style="text-align: center;">SIRVE PARA:</p> 4 a 6 h. DE TELEVISIÓN, 5 CARGAS DE CELULAR, 10 h. DE MUSICA, 2 CARGAS DE PC PORTATIL, 5 BOMBILLOS POR 5 h.																							
Instalación		\$600.000																							
Adecuación de lugar de instalación		\$2.000.000																							
Revisión electrica de toda la casa		\$400.000																							
Imprevistos (cambio de cables, breaker, etc)		\$500.000																							
Total		\$8.359.000																							

Fuente: *Elaboración propia*

Por otro lado, se recomienda la compra adicional de algunos electrodomésticos habituales (lavadora) que traigan incorporada la tecnología de compresores inverter, de los cuales existe evidencia que efectivamente reducen el consumo de energía.

4.3 Beneficios ambientales y económicos de los paneles fotovoltaicos.

4.3.1 Beneficio económico

Para pronosticar el impacto económico de la implementación de los paneles fotovoltaicos, se recolectaron los datos de los últimos recibos de la luz consignados en la siguiente tabla:

Tabla 8. Consumo vs Costo del servicio

n	Consumo (x)	Costo (y)
1	403	\$196.475
2	555	\$273.791
3	377	\$183.250
4	408	\$199.018
5	1074	\$537.786
6	1176	\$589.669
7	771	\$385.510

Fuente: Elaboración propia

Cabe aclarar, que se nota un aumento exagerado del consumo de electricidad, debido a instalación de 2 aires acondicionados adicionales. Sin embargo, estos se cambiaron por unos de tecnología inverter, de igual forma con la compra de una nevera y un horno con las mismas características de eficiencia energética.

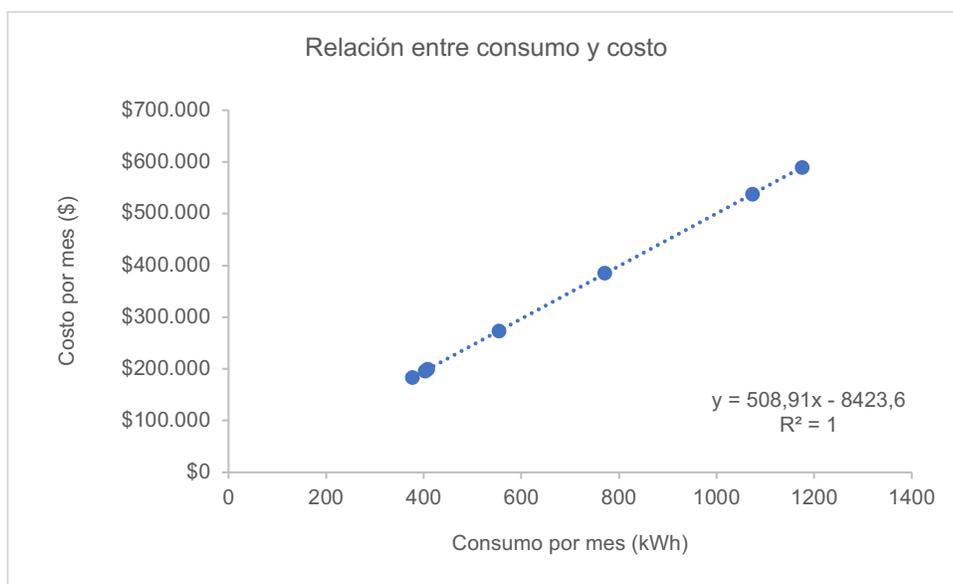


Figura 17. Relación entre consumo y costo

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis estadístico de regresión lineal considerando como variable dependiente el costo a pagar (en pesos) y como variable independiente el consumo mensual (Kwh). La figura 17, muestra un diagrama de dispersión entre las dos variables,

en donde se evidencia una fuerte tendencia lineal creciente, lo cual se valida con el coeficiente de correlación $r = 0.99999165 \approx 1$.

El modelo lineal simple está dado por la ecuación $y = 508.91x - 8423.6$. El signo negativo se explica por el subsidio de consumo hasta de 173 kWh. Tampoco se consideraron los costos adicionales de aseo y alumbrado público que son independientes del consumo de energía como se relaciona en la siguiente figura.



Figura 18. Relación de costos en factura de energía
Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior y de acuerdo con un consumo estimado de 1.19 kWh por horas diarias, se tendría al mes un total de 35.7 kWh, se puede pronosticar un valor a ahorrar por este concepto así:

$$y(35.7) = 508.91(35.7) - 8423.6 = \$9.744$$

4.3.2 Otros beneficios

La importancia de ser eficientes con la energía que consumimos es fundamental para nuestro desarrollo personal, para nuestra calidad de vida, para facilitar el desarrollo de nuestras actividades cotidianas, pero sobre todo para cuidar nuestro planeta. La energía renovable de los paneles solares es inagotable, no se consume, ni se agota.

En el caso particular de la casa a intervenir, se logra tener un back up de energía y en caso de cualquier corte inesperado, o inestabilidad del servicio, se podrá contar con el respaldo de las baterías cargadas con las celdas fotovoltaicas, lo cual permitirá seguir llevando a cabo las actividades laborales o se podrá coadyuvar al inclemente clima de la ciudad de Cartagena. En la parte social, esta propuesta crea conciencia sobre el uso adecuado de los electrodomésticos y el aprovechamiento de los recursos naturales en este caso: el sol.

CONCLUSIONES

Los paneles solares son una estrategia muy adecuada para la generación de energía eléctrica, aunque sus costos de inversión han bajado, aún están por encima del presupuesto de cualquier familia colombiana. Por ende, se recomienda adquirirlos para suplir el suministro básico durante un tiempo determinado de acuerdo con las necesidades específicas del usuario.

Al analizar el consumo registrado por los electrodomésticos, se marca un camino a futuras compras de los mismos, en pro de mejorar la eficiencia energética, y a su vez, impactando nuestra calidad de vida.

Cualquier uso adecuado de nuestros recursos naturales, coadyuva a mitigar los efectos del cambio climático. De allí la importancia de crear conciencia en nuestros hogares del ahorro y uso adecuado de la energía.

RECOMENDACIONES

Dado el alto costo de sustituir todo el suministro de energía implementando paneles solares, se sugiere la adquisición de electrodomésticos (nevera, horno microondas, aire acondicionado, lavadora) de tecnología Inverter cuando sea posible, pues estos, reducen el consumo de electricidad y permiten el ahorro de dinero.

Es recomendable socializar con nuestros familiares y conocidos, el uso adecuado de las conexiones eléctricas, junto de los conceptos de eficiencia energética, energías renovables, entre otros. Debido a que existe desconocimiento sobre dicha temática.

BIBLIOGRAFÍA

- ACCIONA. (2019). *¿Qué es la energía solar fotovoltaica y cómo funciona?* <https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>
- Acevedo, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.
- Arencibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica Por Gustavo Arencibia-Carballo. *Redvet*, 17(6), 2.
- Barrientos, J. (2019). *Electricaribe: la historia de un fracaso social*.
- C.C. Cartagena de Indias. (2020). *La energía solar llega al Centro de Convenciones Cartagena de Indias*. <https://cccartagena.com/energia-solar-en-el-centro-de-convenciones-cartagena-de-indias/>
- Castro, A. O. (2014). Modelado y simulación de un panel fotovoltaico empleando técnicas de inteligencia artificial. *Ingeniería Energética*, XXXV(3), 225–233.
- Celsia. (2018). *Proyectos de energía solar que debes conocer en Colombia*. <https://blog.celsia.com/new/proyectos-de-energia-solar-en-colombia/>
- Chavez, M. (2012). "Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generacion fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional 'San Antonio' de Riobamba." 106.
- Díaz, M., & González, A. (2013). *Introducción al análisis estadístico multivariado aplicado*. Uninorte.
- ESOMEX. (2020). *Historia de la Energía Solar*. <https://energiasolar.mx/historia-de-la-energia-solar/>
- González, M. (2018). Proyecto aplicado: Instalación de paneles solares para ahorro de energía en la empresa AJE Colombia S.A. In □□□□□□. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.
- Granda-Gutiérrez, E. E., Orta-Salomón, O. A., Díaz-Guillén, J. C., Jimenez, M. A., Osorio, M., & González, M. A. (2013). Modelado y Simulacion de Celdas y Paneles Solares. ISSN:1405-2172. *Congr. Int. Ing. Electrón. Mem. Electro 2013*, 35, 17–22.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (7º)*. Mc Graw Hill.
- Hernandez, R., Mendez, S., Mendoza, C., & Cuevas, A. (2017). Fundamentos de investigación. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (1º). Mc Graw Hill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- IDEAM. (2020). *Características de la radiación solar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>

- Londoño, A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25, 375–390.
- Miranda, J. C., & Maestre, L. E. (2019). El Caribe a oscuras: La crisis de Electricaribe. *Dictamen Libre*, 24, 209–218. <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.24.5472>
- Perpiñan, O. (2014). *Energía Solar Fotovoltaica* (Issue January 2011). Universidad Politécnica de Madrid.
- Pilco, D., & Jaramillo, J. (2008). Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. *Universidad Técnica Particular Loja*, 0(Profesional en formación, Universidad Técnica Particular de Loja #2Docente, Universidad Técnica Particular de Loja), 1–4. <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/renlux-paneles-fv.pdf>
- PNUD. (2020). *OBJETIVO 7: ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE*. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- Pons, R. (2016). *Proyecto de Instalación Solar Fotovoltaica Para Bloque de Viviendas*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Salas, P. D. V. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en La PUCP. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 7. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23754.16323>
- UPME. (2015). Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. *Unidad de Planeación Minero Energética, Republica de Colombia*, 184. http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf