

Artículo de investigación

Cómo citar: J. C. Córdoba, J. C. Rivera. "Análisis de viabilidad operativa para la Generación de Energía Fotovoltaica en el norte de Antioquia, Colombia". *Inventum*, vol. 17, n.º 33, pp. 98-107, julio - diciembre 2022 doi: 10.26620/uniminuto.inventum.17.33.2022.98-107

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 01 de junio de 2022
Fecha de aprobado: 01 de julio de 2022
Fecha de publicación: 15 de julio de 2022

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Análisis de viabilidad operativa para la Generación de Energía Fotovoltaica en el norte de Antioquia, Colombia¹

Operational Feasibility Analysis for Photovoltaic Power Generation in northern Antioquia, Colombia

Análise de viabilidade operacional para a Geração de Energia Fotovoltaica no norte de Antioquia, Colômbia

Resumen

Mediante la evaluación espacial, la identificación de las variables climáticas y el uso de programas de análisis espacial como ArcGIS, Google Earth PRO fue posible la viabilidad económica, técnica y espacial para la evaluación de un proyecto de generación fotovoltaica en el municipio de Caucasia, Antioquia (Colombia).

Para tal fin, se tuvo en cuenta que la generación de energías limpias en Colombia, como un mercado poco explotado y con un nivel de competencia bajo, requiere de la implementación de nuevas leyes para la disminución en la producción de gases de efecto invernadero como lo refiere la resolución CREG-030 de 2018, la cual regula la generación de energía a pequeña escala, en la cual se favorece a pequeños productores de energías renovables, facilitando la venta de la energía producida a los comercializadores en Colombia.

Con la entrada en vigor de nuevas políticas mundiales para la generación de energías limpias, este mercado poco explotado, a medida que se implementan estas políticas nacionales e internacionales, se hace más atractivo para los inversionistas. Para la implementación y aplicación de estas nuevas regulaciones, es importante la evaluación de viabilidad de este tipo de proyectos en cuanto a mejoramiento y vida útil de los mismos.

Palabras clave: fotovoltaica, generación, energía, viabilidad, costos, eficiencia.

¹ Producto derivado del proyecto de investigación *Generación fotovoltaica*, apoyado por la Fundación Universitaria Agraria de Colombia a través del centro de investigación y semilleros en Energías Renovables, en calidad de estudiante y la Fundación Universitaria Los libertadores mediante el Semillero de Innovación de la Facultad de Ingeniería Aeronáutica, en calidad de egresado. Proyecto derivado de investigación en energías renovables y aplicación en el campo de la ruralidad e innovación regional

J.C.Córdoba

Universidad Agraria de Colombia,
Universidad los Libertadores, Bogotá, Colombia
email: Cordoba.juan1@uniagraria.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-5849-5216>

J. C. Rivera

Corporación Universitaria Minuto de Dios -
UNIMINUTO, Bogotá, Colombia.
email: jriverarod3@uniminuto.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-0086-711X>
Semillero de Gestión Ambiental - Grupo de
Investigación Agroeco y Gestión ambiental
(AGROECO)



Abstract

Through spatial evaluation, the identification of climatic variables and the use of spatial analysis programs such as ArcGIS, Google Earth PRO feasibility was possible economic, technical and spatial for the evaluation of a photovoltaic generation project in the municipality of Caucasia, Antioquia (Colombia).

To this end, it was taken into account that the generation of clean energy in Colombia, as a market little exploited and with a low level of competition, requires the implementation of new laws for the reduction in the production of greenhouse gases as referred to in resolution CREG-030 of 2018, which regulates the generation of small-scale energy, in which small producers are favored of renewable energies, facilitating the sale of the energy produced to traders in Colombia.

With the entry into force of new global policies for clean energy generation, this market little exploited, as these national policies are implemented and international, it becomes more attractive to investors. For the implementation and enforcement of these new regulations, it is important the feasibility evaluation of this type of project in terms of improvement and useful life of the same.

Keywords: photovoltaic, generation, energy, feasibility, costs, efficiency.

Resumo

Através da avaliação espacial, a identificação de variáveis climáticas e o uso de programas de análise espacial como ArcGIS, Google Earth PRO foi possível econômico, técnico e espacial para a avaliação de um projeto de geração fotovoltaica no município de Cáucaso, Antioquia (Colômbia).

Para isso, levou-se em conta que a geração de energia limpa na Colômbia, como mercado pouco explorado e com baixo nível de competição, exige a implementação de novas leis para a redução a produção de gases de efeito estufa de que trata a resolução CREG-030 de 2018, que regulamenta a geração de energia de pequena escala, em que os pequenos produtores são favorecidos de energias renováveis, facilitando a venda da energia produzida a comerciantes na Colômbia.

Com a entrada em vigor de novas políticas globais de geração de energia limpa, esse mercado pouco exploradas, pois essas políticas nacionais são implementadas e internacional, torna-se mais atraente para os investidores. Para a implementação e aplicação destes novos regulamentos, é importante a avaliação de viabilidade deste tipo de empreendimento em termos de melhoria e vida útil do mesmo.

Palavras-chave: fotovoltaica, geração, energia, viabilidade, custos, eficiência.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis espacial permite resolver problemas complejos relacionados con la ubicación, la espacialidad, la búsqueda de patrones, la evaluación de tendencias y la toma de decisiones. Es un análisis que va más allá de la representación cartográfica y facilita el estudio de las características de los lugares y las relaciones entre ellos, aportando nuevas perspectivas para la toma de decisiones (SRIS).

Mediante el análisis espacial, es posible combinar información de muchas fuentes y obtener salidas de información nueva, que puede ser usada, analizada y comparada para aplicaciones en ciencia, ingeniería y otras áreas del conocimiento humano. El conjunto de herramientas usadas en el presente documento se empleó para conocer la geografía del área del municipio de Cauca, en el departamento de Antioquia (Colombia) y evaluar sus condiciones climáticas, con el fin de identificar áreas geográficas que cumplan con las condiciones adecuadas para la instalación de equipos de generación fotovoltaica, lo que permitirá apoyar la reducción de una de las tantas problemáticas presentes en el municipio.

A través del uso de herramientas virtuales gubernamentales y no gubernamentales para el seguimiento de datos climáticos, se investigaron los parámetros climáticos necesarios para el cálculo de la producción fotovoltaica para parques de producción solar.

Según las características y ubicación del municipio, se identificaron los posibles usuarios institucionales y no institucionales que pueda tener el proyecto.

Con el uso de herramientas ofimáticas y de investigación, así como información encontrada en internet, se analizaron los marcos regulatorios para la viabilidad de la propuesta, las tendencias del mercado y las proyecciones para tener en cuenta en caso de implementarse un parque solar fotovoltaico de pequeña envergadura.

Las herramientas como Microsoft Excel permitieron la elaboración de cálculos complejos estadísticos y matemáticos fundamentales para la elaboración del presente documento, en cuanto a las proyecciones de costos, la vida útil y la generación del sistema, así como a la cantidad de equipos a usar, de acuerdo con las características de dimensionamiento, la capacidad de producción por metro cuadrado, la tasa de uso y la vida útil del proyecto.

Mediante la revisión documental de investigaciones previas y evaluaciones realizadas por diferentes investigadores, libros, tesis magistrales y artículos científicos de investigación, así como proyectos y normativa aplicables a la generación fotovoltaica, se realizó la acotación y evaluación de los factores para determinar la viabilidad económica, técnica y espacial para la evaluación de un proyecto de generación fotovoltaica en el municipio de Cauca, Antioquia (Colombia).

II. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

En la figura 1 se encuentra el municipio de Cauca Antioquia se encuentra en la subregión del bajo Cauca antioqueño. Con una población de 87 500 habitantes, aproximadamente, es el municipio con mayor volumen poblacional en la región, que comprende los municipios de Nechí, Zaragoza, el Bagre, Tarazá y Cáceres —con los cuales colinda, su temperatura oscila entre los 24 y 34 grados Celsius a lo largo del año, y se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 150 metros [1] con un terreno en su mayor proporción irregular con pendientes de entre 3 y 5%.

Es importante destacar que, aparte de la viabilidad fotovoltaica de la región y debido al alto nivel de radiación solar que se presenta en la zona, es oportuno evaluar las condiciones climáticas con relación a la producción eólica [2] y el sistema de generación que permite producir energía las 24 horas, a diferencia del fotovoltaico.



Figura 1. Ubicación geográfica, municipio de Cauca, Antioquia.

Fuente: ARCGis.

III. CONDICIONES CLIMÁTICAS Y LUGAR DE EMPLAZAMIENTO

Colombia, por ser un país que se encuentra sobre la línea del Ecuador, presenta la ventaja de no necesitar sistemas móviles para el uso e instalación de paneles solares y la modificación de su ángulo de injerencia con relación al sol y del ángulo de inclinación de la tierra a través de las estaciones del año [3], por tanto, este ángulo de los paneles con relación a la superficie terrestre será fijo, de acuerdo a datos obtenidos por tablas, estimado en 15 grados orientación norte-sur.

De igual modo, la cercanía al Ecuador permite tener días de igual duración a lo largo del año, con una media de 12,3 horas de luz durante todo el año entre las 6 a. m. y las 7 p. m.

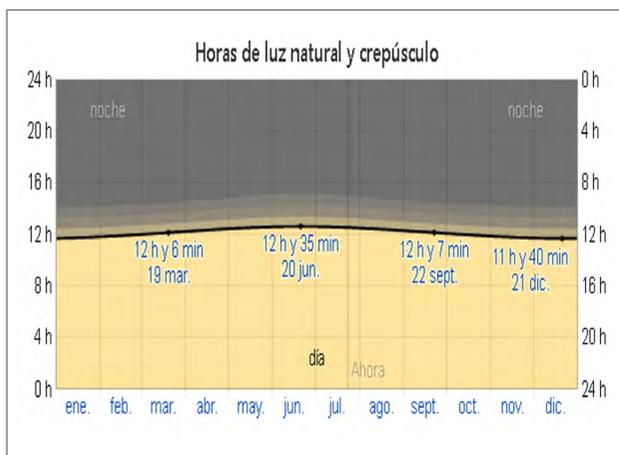


Figura 2. Horas de luz solar mensual, promedio.
 Fuente: Weather Spark.

En la figura 2 se encuentra que la mayor cantidad de radiación solar y los mayores picos de producción de energía se dan entre las 10 a.m. y las 3 p.m., momentos entre los cuales el sol alcanza su verticalidad con los paneles, lo cual tiene relación con la incidencia que presentaron los paneles solares con respecto al sol [4]. De igual forma, en áreas meridionales, debido a los cambios estacionales por acción del movimiento traslacional de la tierra, este ángulo varía, lo cual afectara directamente el rendimiento en la generación fotovoltaica debido a la incidencia de la radiación directa en las celdas fotovoltaicas. En el caso de Colombia, que encuentra en el Ecuador, es insignificante este fenómeno.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0-1												
1-2												
2-3												
3-4												
4-5												
5-6					0	0	0	0	0	0	0	0
6-7	1	1	1	2	3	3	2	2	3	3	3	2
7-8	9	8	8	8	9	9	9	8	9	10	10	9
8-9	18	17	16	16	17	17	17	17	18	18	18	18
9-10	25	24	22	22	23	24	25	26	26	26	25	24
10-11	31	31	28	28	29	30	31	32	33	32	31	30
11-12	37	36	34	33	33	35	36	36	37	37	35	35
12-13	38	38	36	35	34	35	37	38	37	37	36	36
13-14	37	37	34	33	32	32	33	35	34	33	33	34
14-15	32	32	30	28	26	26	27	28	28	27	27	29
15-16	24	25	22	21	19	18	19	20	19	18	19	20
16-17	13	15	13	11	10	10	11	11	10	9	9	10
17-18	3	4	4	3	3	3	3	3	2	1	1	2
18-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19-20												
20-21												
21-22												
22-23												
23-24												
Sum	268	269	248	240	238	240	251	257	255	251	248	249

Figura 3. Radiación solar media horaria.
 Fuente: Weather Spark.

La figura 3 presenta las características climáticas del municipio para la producción de energía fotovoltaica, como lo son el bajo nivel de nubosidad, que se mantiene entre el 5 % y el 10 %, lo cual significa que se presenta un cielo despejado durante tres cuartas partes del año, entre marzo y noviembre [5], y aumenta hasta máximos del 40 % entre diciembre y febrero, que son los meses húmedos en la región.

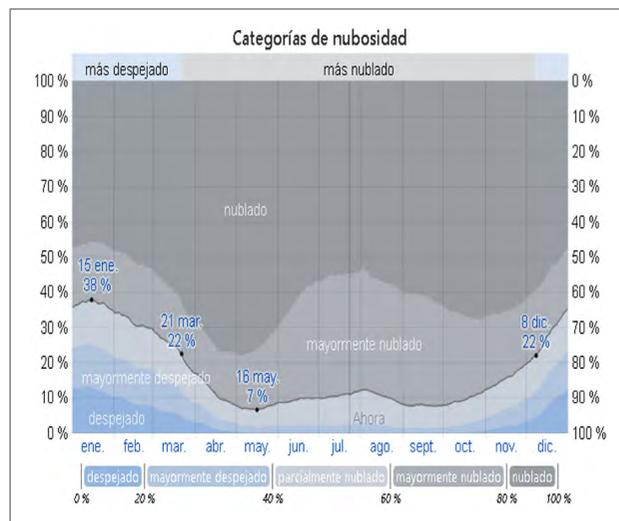


Figura 4. Niveles de nubosidad
 Fuente: Weather Spark.

En la figura 4 aprecen los nivel de nubosidad en la zona, y también se encuentra que, las precipitaciones se determinan por debajo de los 200 milímetros en el mes [6].

Además, los niveles de humedad en el aire son bajos en comparación con los de otros municipios de la región Andina colombiana, lo que favorece el alargamiento de la vida útil de los equipos, puesto que, al tener bajo contacto con el agua, se reduce el nivel de corrosión de los mismos. Sin embargo, esto favorece que los suelos sean polvosos, lo cual implica la implementación de planes de limpieza periódica de los paneles para minimizar el efecto del polvo en el rendimiento de estos, así como a mantener niveles medios de pasto de forraje, para reducir la generación de polvo en las áreas circundantes al proyecto.

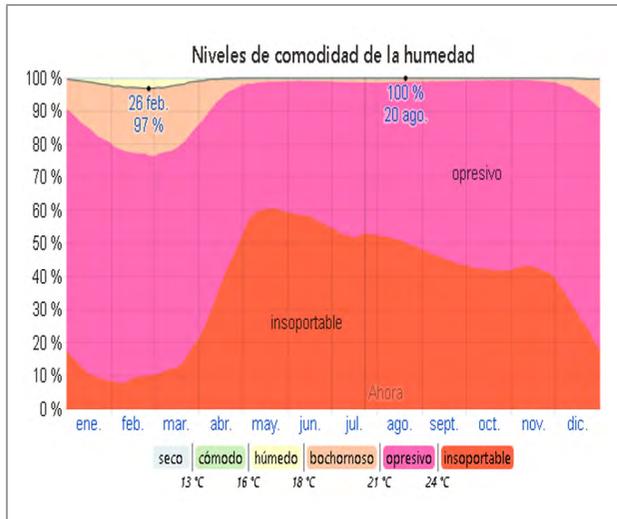


Figura 5. Niveles promedio de humedad.
 Fuente: Weather Spark.

La figura 5 presenta los nivel promedio de humedad, lo cual es importante al momento de elegir qué tipo de paneles solares usar para un proyecto fotovoltaico, uno de los factores más importantes será la temperatura ambiental, ya que, de acuerdo con esta, un panel solar puede generar pérdidas de rendimiento. Al respecto, es oportuno tener en cuenta que se pueden presentar pérdidas de rendimiento mayores del 60 % a temperaturas superiores a los 50 grados Celsius, y que, la temperatura ideal de operación es de 0 grados centígrados. Igualmente, se debe tener presente que, en el lugar de emplazamiento, se cuenta con una temperatura media anual de 30 grados centígrados, lo cual implica pérdidas en el rendimiento de los paneles de entre el 20 % y el 30% de su potencia [7], [8].

Por tal razón, se optó por paneles monocristalinos, pues, aunque su rendimiento se ve más afectado por las altas temperaturas, en comparación con los paneles policristalinos, estos presentan una mayor eficiencia y presentan pérdidas de rendimiento inferiores al 25 % con temperatura determinada [9].

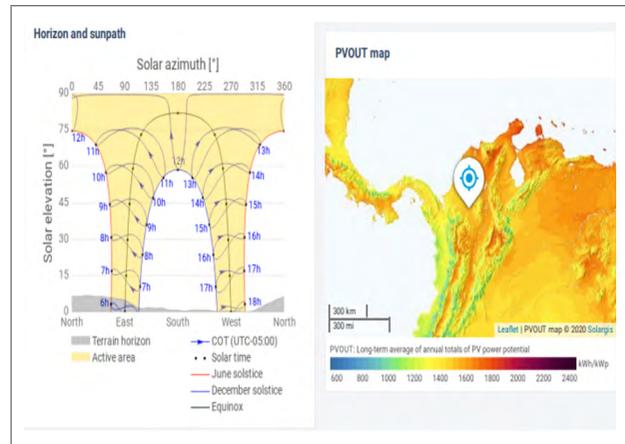


Figura 6. Horas de luz solar y picos de radiación.
 Fuente: Global Solar Atlas.

En la figura 6 se reflejan las horas de luz solar y los picos de radiación presentes para la región estudiada de acuerdo con el reporte suministrado por Global Solar atlas.

A. Condiciones del mercado y clientes

El cliente es una compañía comercializadora de energía que cuenta con grandes proyectos en el país y a nivel regional y su proyecto más significativo es la hidroeléctrica del municipio de Ituango, Antioquia, la cual se proyecta que sea una de las más grandes de Latinoamérica. Por ser una compañía sólidamente constituida, brinda seguridad en cuanto a los pagos a sus proveedores, además de que la población consume alrededor de 6,5 millones con una tasa de consumo cercana a los 152 kilovatios/hora al mes por hogar y con tendencia al alza en el consumo de energía, lo cual motiva a la compañía a adquirir energía de los mercados nacionales para suplir su demanda [10], [11].

B. Necesidades del cliente por suplir

El grupo Empresas Públicas de Medellín (EPM), cuenta con 25 centrales generadoras de energía que tienen una capacidad de 2.836 megavatios [12] y gran parte de estas, alrededor de 98 %, son hidroeléctricas, factor que constituye una desventaja para la compañía al presentarse fenómenos naturales como el de El Niño, ya que en las temporadas secas se reduce el nivel de los embalses y, por tanto, su producción disminuye drásticamente, para la compra de energía de los mercados nacionales e internacionales. De otra parte, no solamente clientes del tipo residencial pueden ser identificados para la prestación estos servicios, es posible suplir las necesidades de empresariales, como, por ejemplo, “las de empresas productoras de lácteos o cárnicos, tal y como lo muestran otras investigaciones en el ámbito [13].

C. Tendencias de crecimiento

A partir de la figura 7, se encuentra que, en relación con las tendencias de crecimiento energético, en Colombia, el 99% de la producción de energía se da por medios convencionales, entre los cuales la producción hidroeléctrica ocupa un 70%, la termoeléctrica, un 29%, y la producción de energía a partir de fuentes renovables es de tan solo un 1% del mercado [14]. Sin embargo, según estudios y análisis de grandes firmas internacionales, dados los grandes esfuerzos para mitigar el cambio climático a nivel internacional y la necesidad de reducir la huella de carbono en el ambiente, se prevé que al 2050 este ocupe un 40% de la producción energética nacional. Esto se verá impulsado, además, por los fenómenos del cambio climático y el aumento económico precios de producción de energía por medio del uso de combustibles derivados del carbono [15], lo cual implica tasas de crecimiento anual de alrededor del 1,3% en la producción de energía por medios no convencionales como la producción fotovoltaica y la eólica.

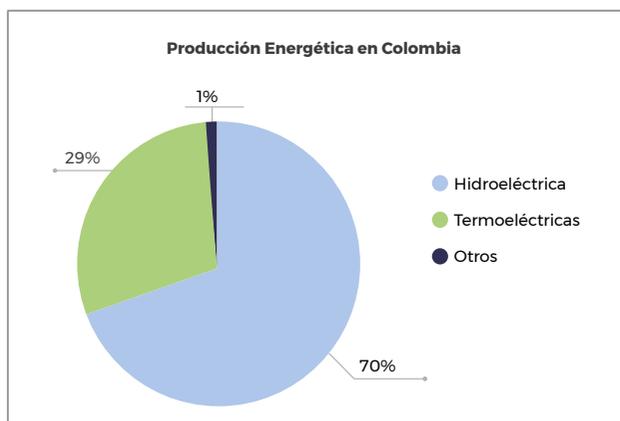


Figura 7. Producción de energía.
 Fuente: Revista Dinero [16]

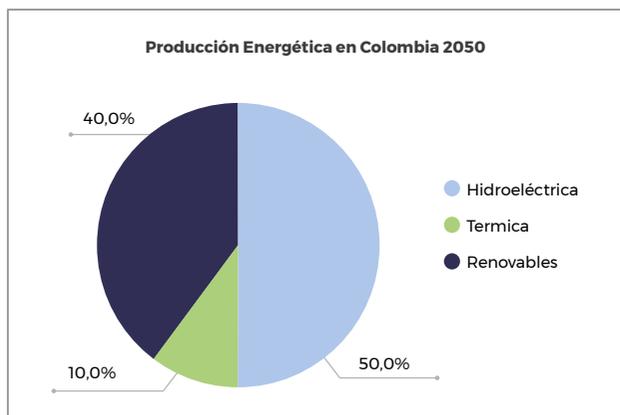


Figura 8. Desglose de los tipos de producción energética en Colombia.
 Fuente: Revista Dinero [16]

La figura 8 presenta el desglose de los tipos de producción energética en Colombia, en donde el 50% obedece al proceso de la parte hidroeléctrica, y quedando en último lugar, la producción energética de carácter térmico con un valor del 10%.

A medida que se observan disminuciones en la producción de energía a partir de las fuentes convencionales, de igual manera se observa que, con el paso del tiempo, aumentan los costos de la energía, “con incrementos de entre el 5 y el 15% anual, así como la demanda de energía por parte de los consumidores [17].

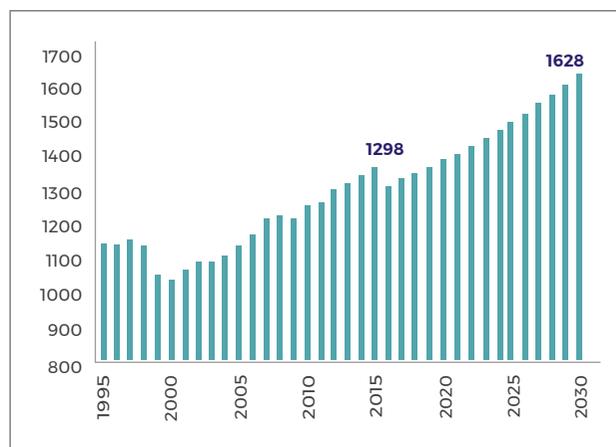


Figura 9. Proyecciones de demanda energética por persona en Colombia.
 Fuente: ANDI [18].

En la figura 9 aparece la proyección de demanda energética por persona en Colombia. Al respecto, es oportuno señalar que el crecimiento paulatino año a año sin ningún tipo de medida y proceso de regulación.

Conforme a lo investigado en diferentes plataformas como Alibaba y Mercado Libre y en tiendas especializadas sobre insumos y equipos para la producción fotovoltaica, se identifica que, los valores correspondientes, tomando como base para la cotización los costos más bajos, se obtiene un costo de puesta a punto del sistema de 175 millones de pesos colombianos como inversión inicial y que los precios medios de mercado, tomados de la información pública expuesta en la Bolsa de Valores para la venta de energía en la plataforma XM de Colombia, además del incentivo limpia de energía para pequeños productores por parte de EPM, “se ha establecido un precio de venta de kWh de 612,5 COP.

En la tabla 1 se muestra un resumen de los costos y características del sistema que se tomaron como base para el cálculo de evaluación.

Ítem	Costo	Unidad de Medida
Media anual de producción D	0,25	M/w
Costo del panel + instalación + soporte	\$866.666	COP
Coste Inversión	\$175.819.540	
POTENCIA DE LA INSTALACIÓN (Wn)	0,05	MW
POTENCIA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO (Wp)	55,00	kWp
Radiación	5,00	kWh/m ²
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ESTIMADA ANUAL	91.250,00	kWh/año
Potencia del convertidor	38,50	kW
INGRESOS DEL PRIMER AÑO	\$43.070.000	COP
POTENCIA PANEL N	360	W
PANELES NECESARIOS	139	
POTENCIA INVERSOR	80	kW
Área del panel	2,50	m ²
Superficie requerida	348	m ²
PERIODO EN EL QUE EL FABRICANTE GARANTIZA UNA POTENCIA	80%	
EN SU PRODUCTO DEL 80% DE LA POTENCIA NOMINAL	25	años
PVP DEL kWh	612,5	COP
INCREMENTO ESTIMADO DEL PRECIO DE LA ENERGÍA	5	% anual
IPC ESTIMADO	4	% anual

Tabla 1. Determinación de la producción y costos.

Fuente: Elaboración propia.

Los ingresos del proyecto se verán reflejados en cuanto a la producción de energía, la cual se venderá directamente al comercializador a precio de bolsa horaria más un incentivo del 50% por autogeneración distribuida. De acuerdo con lo anterior, el cliente comprará toda la energía que se suministre al sistema 24/7, teniendo en cuenta que el proyecto tendrá producción de energía durante 12 horas al día [19].

1) Proyecciones de ventas

Según datos extraídos del Atlas Global de Radiación [20], el IDEAM [21] y la NASA [22], se observa que en la zona se cuenta con niveles de radiación media anual de entre 5 y 6 kilovatios/hora por metro cuadrado, por tanto, para

efectos de cálculos conservadores se tomó como referencia la media de 5 kilovatios/hora [23]. Este dato arroja que producción fotovoltaica media mensual será de alrededor de 251 kilovatios/día, teniendo en cuenta las características climáticas de la zona de emplazamiento del proyecto, las horas de luz, el nivel de precipitaciones, la temperatura del ambiente y su afectación al rendimiento eléctrico de los paneles [24], como se refleja en la figura 10.

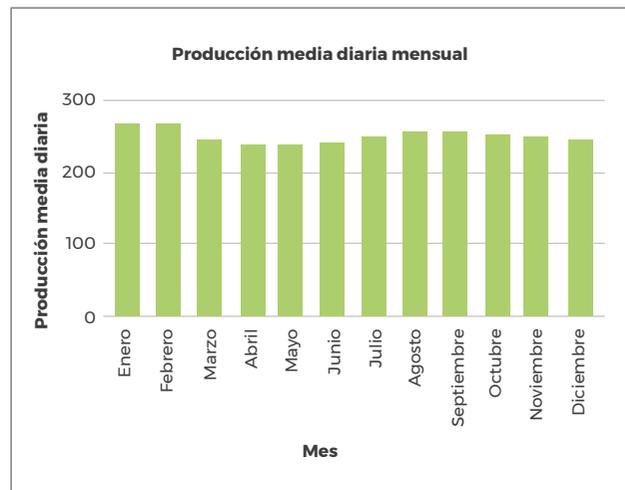


Figura 10. Proyección de la producción fotovoltaica horaria por granja solar de 50 kW.

Fuente: Elaboración propia.

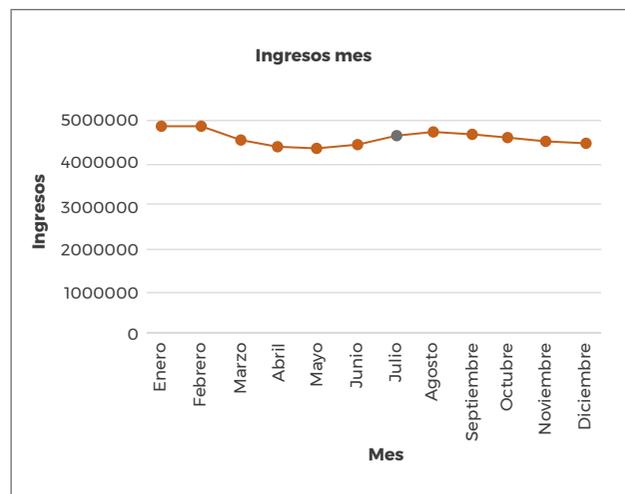


Figura 11. Proyección de ingresos granja solar 50 kW.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 11, se refleja la proyección mes a mes de ingresos a través de la granja solar. Los valores oscilar en el rango de los 4.000.000 millones de pesos.

IV. RESULTADOS

Esta evaluación de condiciones da como resultado una viabilidad inicial acorde a las condiciones climáticas, de radiación y producción de energía fotovoltaica en el territorio de estudio. Es necesario tener en cuenta factores económicos externos como costos de financiación, depreciaciones, y beneficios tributarios para evaluar económicamente este tipo de proyectos sobre la instalación de parques fotovoltaicos.

Con una tasa de radiación solar de 5 kWh hora por metro cuadrado y paneles de 360 W, para la producción de 50 kWh es necesario usar 139 paneles, por consiguiente, se requieren alrededor de 250 paneles de 1,9m × 1m, lo cual brindará un ingreso mensual aproximado de 4.608.360 COP, es decir, un costo de 612,5 COP por kWhora, teniendo en cuenta los incentivos por producción limpia.

V. CONCLUSIONES

Las nuevas tendencias del mercado, así como la implementación de nuevas tecnologías para la generación de energías limpias, hace que la generación fotovoltaica sea un mercado con gran potencial de expansión y crecimiento en Colombia, debido a los incentivos con los que cuentan las empresas generadoras de energía para la compra de energía proveniente de estos métodos de producción. Se debe tener presente que, al igual que con cualquier otro método de producción de energía, los costos iniciales de inversión son altos con relación al tiempo en el cual se iniciará la recuperación de dividendos, sin embargo, debido a la larga vida útil que presentan estos sistemas, pueden ser contados como inversiones con flujo de caja a largo plazo.

Para la evaluación de viabilidad del presente proyecto, es necesaria la selección de predios que cumplan con los requerimientos establecidos por las empresas generadoras de energía para la compra de energía, como lo es la capacidad instalada de los transformadores en la zona de instalación.

Es preciso evaluar los costos del proyecto en lo referente a líneas de transmisión y transformadores en caso de instalar proyectos de este tipo en zonas apartadas de puntos de transmisión de energía.

Cabe resaltar que han sido generalizados comportamientos por parte de comercializadores de estos sistemas con fines netamente lucrativos en cuanto a su venta más allá

de las necesidades del cliente, por lo cual, es importante mantener una “ética adecuada por parte de quienes comercializan estos sistemas en pro de la transición verde [25] y [26].

REFERENCIAS

- [1] Manual de Arcgis 9.3 - básico”, 2010, descripción de la suite arcgis , representación y consulta de datos, huancayo, Peru, https://mappinggis.com/wp-content/uploads/2012/04/MANUAL_ARCGIS-basico.pdf. Accedido el 22 de julio de 2022. [En línea]. Disponible: https://mappinggis.com/wp-content/uploads/2012/04/MANUAL_ARCGIS-basico.pdf
- [2] L. C. Bassotto, R. M. F. d. Nascimento, M. A. Lopes, M. A. Lopes Filho, G. C. d. Benedicto y M. P. Tavares, “Energía fotovoltaica: análise de custos de produção em propriedade leiteira de Minas Gerais”, *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, vol. 15, n.º 4, pp. 1-16, septiembre de 2022. Accedido el 11 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n4e9619>”
- [3] D. Blas Martínez, “Instalación de paneles fotovoltaicos en bosal s.a”, resumen extendido de trabajo de grado, Escuela universitaria de ingeniería técnica e industrial de Zaragoza, Zaragoza, 2010.
- [4] Dans E. “Energía solar en todas partes”. El Blog de Enrique Dans. <https://www.proquest.com/blogs-podcasts-websites/energía-solar-en-todas-partes/docview/2699710128/se-2>. (accedido el 14 de octubre de 2022)
- [5] S. Navarro Rayas, “Implementación de un sistema fotovoltaico para la alimentación de un edificio de usos múltiples”, resumen extendido de Tesis Magistral, UTJ, Guadalajara, 2017. [En línea]. Disponible: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/781/1/Soraya%20Navarro%20Rayas,%20José%20Antonio%20González,%20César%20López%20Andrade%20MER.pdf>
- [6] J. A. Ladrón de Guevara, “Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada”, resumen extendido de trabajo de grado, universidad politécnica de madrid, MADRID, 2015. Accedido el 13 de enero de 2022. [En línea]. Disponible: https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf

- [7] S. Nespolo, B. C. d. Gama, V. S. Guerra, V. D. Batista, V. d. M. Lopes y J. D. d. Lima, “Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma propriedade rural”, *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, vol. 15, n.º 3, pp. 1-17, julio de 2022. Accedido el 30 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n3e9419>
- [8] Energía Solar Fotovoltaica. madid: Creative Commons, 2020. Accedido el 26 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- [9] J. A. Ladrón. “Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada”, resumen extendido de trabajo de grado, universidad politécnica de madrid, MADRID, 2015. Accedido el 13 de enero de 2022. [En línea]. ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica. madid: Creative Commons, 2020. Accedido el 26 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- [10] “High voltage live line work”, in *Electric Safety Regulation 2002* (div. 3), Office of the Queensland Parliamentary Counsel, Australia. See in [Http://www.dir.qld.gov.au/electricalsafety/business/workers/live/safely/index.htm](http://www.dir.qld.gov.au/electricalsafety/business/workers/live/safely/index.htm)
- [11] D. A. Arenas Sánchez. Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones. Universidad tecnológica de pereira, 2011. Accedido el 18 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/29243269-1d0b-4c34-8c23-b3229dbdc19a/content>
- [12] P. López. (2022). Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica de una vivienda aislada”, trabajo de grado, escuela TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA, Tarragona, 2015. Accedido el 21 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2317pub.pdf>
- [13] IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings, IEEE Standard C57.19.100-1995, Aug. 1995
- [14] “COLOMBIA: BALANCE 2020 Y PERSPECTIVAS 2021”, ANDI, Bogota, 1, enero de 2020. Accedido el 12 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible: https://www.andi.com.co/Uploads/Balance%202020%20y%20perspectivas%202021_637471684751039075.pdf
- [15] Qué tan competitiva es la energía colombiana. *Revista Semana*, julio de 2015. Accedido el 1 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.semana.com/economia/articulo/analisis-produccion-energetica-del-pais-su-competitividad/211733/>
- [16] Epm, “Vicepresidencia ejecutiva proyectos e ingeniería”, EPM, Medellín, noviembre de 2013. Accedido el 17 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://cu.epm.com.co/Portals/institucional/transparencia/documentos/informe-vicepresidencia-proyectos-ingenieria-epm.pdf>
- [17] Precio de bolsa y escasez. Portal XM. <https://www.xm.com.co/transacciones/cargo-por-confiabilidad/precio-de-bolsa-y-escasez> (accedido el 10 de noviembre de 2022).
- [18] Asociación Municipal de Colonos del Pato, “Informe de cálculos para sistema solar fotovoltaico”, Asociación Municipal de Colonos del Pato, pato, 1, octubre de 2017.
- [19] Mapas de recursos solares de Colombia. Solar Irradiance data | Solargis. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/colombia> (accedido el 14 de abril de 2022).
- [20] Atlas Climático Ideam”. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html?fbclid=IwAR2UMcXLBmb>. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html?fbclid=IwAR2UMcXLBmb> (accedido el 7 de septiembre de 2022).
- [21] “NASA POWER | Data Access Viewer”. NASA POWER Prediction Of Worldwide Energy Resources. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accedido el 9 de agosto de 2022).
- [22] LINEAMIENTO TÉCNICO 2022, LINEAMIENTO TÉCNICO 2022, Mineducacion Colombia, Bogota, 2022

- [23] S. A. Dogahe, E. J. Javaran y M. Abdolzadeh, “Energy and economic analysis of photovoltaic, concentrating photovoltaic, and combined concentrating photovoltaic/ thermal-organic Rankine cycle power plants in Iran”, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, octubre de 2021. Accedido el 1 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/ep.13763>
- [24] A. D. Quansah et al., “Assessment of solar radiation resource from the NASA-POWER reanalysis products for tropical climates in Ghana towards clean energy application”, *Scientific Reports*, vol. 12, n.º 1, junio de 2022. Accedido el 10 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14126-9>
- [25] J. G. Luis Cordova, A. Dueñas Rodríguez, K. Byttebier y Y. Delgado Triana, “Energy and Law. A Critical Approach to the Cuban Context”, *Global Jurist*, diciembre de 2021. Accedido el 13 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1515/gj-2021-0085>
- [26] Umbarilla L; Alfonso F; Rivera J. Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico (2015). *Revista de investigación agrarian y Ambiental*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.